

JP2002250828A

Publication Title:

OPTICAL SIGNAL PROCESSOR AND OPTICAL SIGNAL PROCESSING METHOD

Abstract:

Abstract of JP 2002250828

(A) PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical signal processor and an optical signal processing method by which the generation of light pulses of 1-10 ps, waveform shaping, waveform measuring, waveform recoding and correlative processing or the like are allowed. SOLUTION: The device is basically composed of an optical waveguide, a first means which equally distributes output light from the optical waveguide and an assembly of the optical waveguide the optical path length of which changes at a fixed interval, and the device is provided with a waveguide array which spectrally diffracted output light, a second means which image-forms light output from the waveguide array and a mirror which receives an incidence of light image formed by the second means and reflects incident light.

Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	デマコト*(参考)
G 0 2 B 6/12		G 0 2 B 6/12	F 2 H 0 4 7
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M 5 K 0 0 2
10/18			

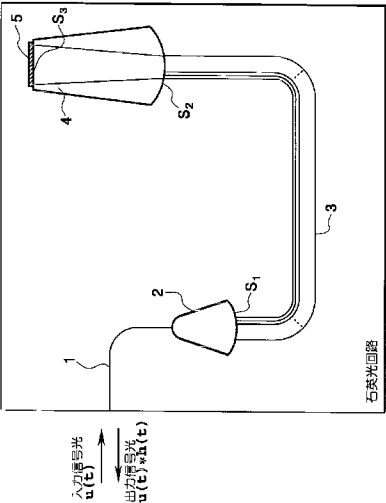
審査請求 有 請求項の数66 O L （全 51 頁）

(21)出願番号	特願2002-28826(P2002-28826)	(71)出願人	00004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(62)分割の表示	特願平9-236350の分割	(72)発明者	津田 裕之 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本電信電話株式会社内
(22)出願日	平成9年9月1日(1997.9.1)	(72)発明者	黒川 隆志 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本電信電話株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平8-231673	(74)代理人	10007/481 弁理士 谷 義一（外1名）
(32)優先日	平成8年9月2日(1996.9.2)		
(33)優先権主張国	日本（J P）		
(31)優先権主張番号	特願平8-286955		
(32)優先日	平成8年10月29日(1996.10.29)		
(33)優先権主張国	日本（J P）		
(31)優先権主張番号	特願平9-43921		
(32)優先日	平成9年2月27日(1997.2.27)		
(33)優先権主張国	日本（J P）		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光信号処理装置および光信号処理方法

(57)【要約】
【課題】 1～10psの光パルスの発生、波形整形、波形測定、波形記録、相関処理等を可能にする光信号処理装置および光信号処理方法を提供する。
【解決手段】 本発明に係る光信号処理装置の基本的構成は、光導波路と、前記光導波路の出力光を等分に分配する第1の手段と、光路長が一定間隔で変化する光導波路の集合体からなり、前記出力光を分光する導波路アレイと、前記導波路アレイの光出力を結像する第2の手段と、前記第2の手段により結像した光の入射を受けて該入射光を反射するミラーとを備えたものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波路と、
前記光導波路の出力光を等分に分配する第1の手段と、
光路長が一定間隔で変化する光導波路の集合体からなり、
前記出力光を分光する導波路アレイと、
前記導波路アレイの光出力を結像する第2の手段と、
前記第2の手段により結像した光の入射を受けて該入射光を直線上に分布するとともに該前記直線上の位置に応じて所望の強度または位相に変調して反射する空間フィルタとを備えたことを特徴とする光信号処理装置。

【請求項2】 第1の光導波路と、
前記第1の光導波路の出力光を等分に分配する第1の手段と、
光路長が一定間隔で変化する光導波路の集合体からなり、
前記出力光を分光する第1の導波路アレイと、
前記第1の導波路アレイの光出力を結像する第2の手段と、
前記第2の手段により結像した光の入射を受けて該入射光を直線上に分布するとともに該直線上の位置に応じて所望の強度に変調し透過する空間フィルタと、
前記空間フィルタで変調された光を、光路長が一定間隔で変化する光導波路の集合体からなる第2の導波路アレイに入射する第3の手段と、
前記第2の導波路アレイと、
前記第2の導波路アレイの出力光を一点に収束する第4の手段と、
前記第4の手段の出力光が入射する第2の光導波路とを備えることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項3】 導波路アレイ格子と空間フィルタとを有する光信号処理装置に、光信号を入力することにより、
前記光信号を周波数スペクトル像に変換し、前記周波数スペクトル像に前記空間フィルタによって所望の変調を施し、
変調された前記周波数スペクトル像を一点に集光して新たな光信号を得ることを特徴とする光信号処理方法。

【請求項4】 前記光信号処理装置が、請求項1または2に記載の光信号処理装置であることを特徴とする請求項3に記載の光信号処理方法。

【請求項5】 反射型の空間フィルタと、
光路長が一定間隔で変化する光導波路の集合体からなる導波路アレイと、
前記反射型の空間フィルタにコヒーレント光を入力すると同時に、
前記反射型の空間フィルタで変調された前記コヒーレント光を前記導波路アレイに入射する第1の手段と、
前記導波路アレイの出力光を一点に収束する第2の手段とを備えたことを特徴とする光信号処理装置。

【請求項6】 透過型の空間フィルタと、
光路長が一定間隔で変化する光導波路の集合体からなる導波路アレイと、

前記透過型の空間フィルタにコヒーレント光を入力する第1の手段と、

前記透過型の空間フィルタで変調された前記コヒーレント光を前記導波路アレイに入射する第2の手段と、
前記導波路アレイの出力光を一点に収束する第3の手段とを備えたことを特徴とする光信号処理装置。

【請求項7】 導波路アレイ格子と、所望の光信号の周波数スペクトルに相当とするホログラム像が書き込まれた空間フィルタとを有する光信号処理装置に、コヒーレント光を入力することにより、
光信号を発生させることを特徴とする光信号処理方法。

【請求項8】 前記光信号処理装置が、請求項5または6に記載の光信号処理装置であることを特徴とする請求項3に記載の光信号処理方法。

【請求項9】 請求項1に記載の光信号処理装置の光導波路に代えて第1および第2の光導波路を用い、
前記空間フィルタに代えて光記録媒体を用いたことを特徴とする光信号処理装置。

【請求項10】 請求項2に記載の光信号処理装置の空間フィルタに代えて光記録媒体を用いたことを特徴とする光信号処理装置。

【請求項11】 前記光記録媒体がフォトリフラクティブ素子または感光膜であることを特徴とする請求項9または10に記載の光信号処理装置。

【請求項12】 請求項9、10および11のいずれかに記載の光信号処理装置を用い、
該装置の第1の光導波路に光信号を入力し、
該装置の第2の光導波路に参照光を入力して前記光信号の記録を行うことを特徴とする光信号処理方法。

【請求項13】 請求項1に記載の光信号処理装置の空間フィルタに代えて光センサアレイを用いたことを特徴とする光信号処理装置。

【請求項14】 請求項13に記載の光信号処理装置を用い、
該装置の光導波路に光信号を入力して前記光センサアレイの出力を測定することを特徴とする光信号処理方法。

【請求項15】 前記光導波路アレイ格子の回折次数をmとし、
mの値が2以上であることを特徴とする請求項1、2、5、6、9、10または13のいずれかに記載の光信号処理装置。

【請求項16】 光導波路と、
導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなるアレイ導波路と、
前記光導波路の出力光を前記アレイ導波路に分配する分配手段と、
前記アレイ導波路の出力光を結像する結像手段と、
前記結像手段の焦点面近傍に配置されて光の像を変調する空間フィルタと、
前記空間フィルタで変調された光を反射する反射手段と、

前記光導波路にて前記反射手段からの反射光を取り出すための光分岐手段とから構成されることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項１７】 第１の光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第１のアレイ導波路と、前記第１の光導波路の出力光を前記第１のアレイ導波路に分配する分配手段と、前記第１のアレイ導波路の出力光を結像する第１の結像手段と、前記第１の結像手段の焦点面近傍に配置されて光の像を変調する空間フィルタと、さらに、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第２のアレイ導波路と、前記空間フィルタで変調された光を前記第２のアレイ導波路に結像する第２の結像手段と、第２の光導波路と、前記第２のアレイ導波路の出力光を合波して前記第２の光導波路に結合する合波手段とから構成されることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項１８】 第１の光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第１のアレイ導波路と、前記第１の光導波路の出力光を前記第１のアレイ導波路に分配する分配手段と、参照光入射用光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第２のアレイ導波路と、前記参照光入射用光導波路の出力光を前記第２のアレイ導波路に分配する第２の分配手段と、前記第１のアレイ導波路の出力光と前記第２のアレイ導波路の出力光を結像する結像手段と、前記結像手段の焦点面近傍に配置された光記録媒体と、前記第１の光導波路から前記反射光を取り出すための光分岐手段とから構成されることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項１９】 第１の光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第１のアレイ導波路と、前記第１の光導波路の出力光を前記第１のアレイ導波路に分配する第１の分配手段と、参照光入射用光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第３のアレイ導波路と、前記参照光入射用光導波路の出力光を前記第３のアレイ導波路に分配する第２分配手段と、前記第１のアレイ導波路の出力光と前記第３のアレイ導波路の出力光を結像する第１の結像手段と、前記第１の結像手段の焦点面近傍に配置された光記録媒体と、

導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第２のアレイ導波路と、

前記光記録媒体で変調された光を前記第２のアレイ導波路に結像する第２の結像手段と、

第２の光導波路と、

前記第２のアレイ導波路出力光を合波して前記第２の光導波路に結合する合波手段とから構成されることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項２０】 第１の光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第１のアレイ導波路と、前記第１の光導波路の出力光を前記第１のアレイ導波路に分配する第１の分配手段と、第１の参照光入射用光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第２のアレイ導波路と、前記第１の参照光入射用光導波路の出力光を前記第２のアレイ導波路に分配する第２の分配手段と、第２の参照光入射用光導波路と、

前記第１のアレイ導波路の出力光と前記第２のアレイ導波路の出力光と前記第２の参照光入射用光導波路の出力光を結像する第１の結像手段と、

前記第１の結像手段の焦点面近傍に配置された光記録媒体と、

前記光記録媒体で変調された光を結像する第２の結像手段と、

前記第２の結像手段の焦点面近傍に配置された受光器アレイとから構成されたことを特徴とする光信号処理装置。

【請求項２１】 請求項１６から２０のいずれかに記載の光信号処理装置において、前記結像手段が円周端面を有するスラブ導波路であることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項２２】 請求項１６から２０のいずれかに記載の光信号処理装置において、前記結像手段が、スラブ導波路と位相空間変調素子とから構成されていることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項２３】 請求項１６または１７に記載の光信号処理装置において、前記空間フィルタが位相フィルタであることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項２４】 請求項１６または１７に記載の光信号処理装置において、前記空間フィルタが強度フィルタであることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項２５】 請求項１６または１７に記載の光信号処理装置において、前記空間フィルタが、強度フィルタと位相フィルタを多段に接続した空間フィルタであることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項２６】 請求項２１に記載の光信号処理装置において、前記位相空間変調素子の焦点距離が前記結合手段のスラブ導波路の焦点距離に等しいことを特徴とする

光信号処理装置。

【請求項27】 請求項16に記載の光信号処理装置において、前記空間フィルタと反射手段とを兼用して多数の部分ミラーから構成されたパターンミラーとしたことを特徴とする光信号処理装置。

【請求項28】 請求項16または17に記載の光信号処理装置において、前記空間フィルタが位相空間変調素子の機能を兼用する空間フィルタであることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項29】 請求項16から20のいずれかに記載の光信号処理装置において、前記結像手段がレンズであることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項30】 請求項16または17に記載の光信号処理装置において、前記結像手段が焦点面のスラブ導波路で、スラブ導波路端に位相調整アレイ導波路を具備し、位相調整アレイ導波路端が前記空間フィルタに接続されていることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項31】 請求項30に記載の光信号処理装置において、前記結像手段が焦点面のスラブ導波路で、スラブ導波路端に位相調整アレイ導波路を具備し、位相調整アレイ導波路に光変調器アレイを具備することを特徴とする光信号処理装置。

【請求項32】 請求項30に記載の光信号処理装置において、前記位相調整アレイ導波路の導波路間の位相差が 2π の整数倍であることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項33】 請求項16または18に記載の光信号処理装置において、前記光分岐手段が光サーキュレータであることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項34】 請求項16または18に記載の光信号処理装置において、前記結像手段がスラブ導波路であり、スラブ導波路端に導波路と垂直方向に光を屈曲させる光屈曲手段を具備することを特徴とする光信号処理装置。

【請求項35】 請求項16または17に記載の光信号処理装置において、前記空間フィルタが、ガラス基板、透明電極、液晶、液晶配向膜から構成される液晶空間変調器であることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項36】 請求項35に記載の光信号処理装置において、前記液晶空間変調器内に1/4波長板を具備することを特徴とする光信号処理装置。

【請求項37】 請求項35に記載の光信号処理装置において、前記液晶空間変調器の液晶がツイストネマティック型である特徴とする光信号処理装置。

【請求項38】 請求項16、17、21から37のいずれかに記載の光信号処理装置による光信号処理方法であって、前記光導波路に時系列光信号を入力することにより、前記時系列光信号を周波数スペクトル像に変換し、前記周波数スペクトル像に前記空間フィルタによって所望の位

相または強度または両方の変調を施し、変調された光を合波して新しい時系列光信号を得ることを特徴とする光信号処理方法。

【請求項39】 請求項16、17、21から37のいずれかに記載の光信号処理装置による光信号処理方法であって、空間フィルタのフィルタ特性が所望の時系列光信号の周波数スペクトルに相当するパターンホログラム像であり、コヒーレントパルス光を前記光導波路に入射することにより所望の光信号を発生することを特徴とする光信号処理方法。

【請求項40】 請求項18、21、22、29、33、34のいずれかに記載の光信号処理装置による光信号処理方法であって、光導波路に信号光を入射し、参照光入力用導波路にコヒーレントパルス光の参照光を入射し、記録媒体にホログラム記録し、参照光入力用導波路に別のコヒーレントパルス光の参照光を入射し、信号光の位相共役光を出力することを特徴とする光信号処理方法。

【請求項41】 請求項18、20、21、29のいずれかに記載の光信号処理装置による光信号処理方法であって、光導波路に信号光を入射し、参照光入力用導波路にコヒーレントパルス光の参照光を入射し、記録媒体にホログラム記録し、参照光入力用導波路に別のコヒーレントパルス光の参照光を入射し、信号光、あるいは、信号光と参照光の相関光を出力することを特徴とする光信号処理方法。

【請求項42】 請求項20、21、22、29のいずれかに記載の光信号処理装置による光信号処理方法であって、光導波路に信号光を入射し、第1の参照光入力用導波路にコヒーレントパルス光の参照光を入射し、第2の参照光入力用導波路に単色光の参照光を入射し、受光器アレイ上に信号光波形の空間像を形成し、パルス波形を観測することを特徴とする光信号処理方法。

【請求項43】 第1の光増幅器と、光波長フィルタと、第1の光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、前記第1の光導波路出力光をアレイ導波路に分配する分配手段と、前記第1のアレイ導波路出力光を結像する第1の結像手段と、前記第1の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する空間フィルタと、前記空間フィルタで変調された光を反射する反射手段と、前記第1の光導波路から前記反射光を取り出すための光

分岐手段と、
第2の光増幅器とから構成されることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項44】 第1の光増幅器と、
光波長フィルタと、
第1の光導波路と、
導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、
前記第1の光導波路出力光をアレイ導波路に分配する分配手段と、
前記第1のアレイ導波路出力光を結像する第1の結像手段と、
前記第1の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する空間フィルタと、
導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第2のアレイ導波路と、
前記空間フィルタで変調された光を前記第2のアレイ導波路に結像する第2の結像手段と、
第2の光導波路と、
前記第2のアレイ導波路出力光を合波して前記第2の光導波路に結合する合波手段と、
第2の光増幅器とから構成されることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項45】 前記請求項42または43に記載の光信号処理装置と、
光源と、
光変調器と、
光変調信号発生回路とから構成されることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項46】 前記請求項42または43に記載の光信号処理装置と、
光受信器とから構成されることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項47】 前記請求項42または43に記載の光信号処理装置と、光源と、光変調器と、光変調信号発生回路と、からなる光信号送信回路と、
前記請求項42または43に記載の光信号処理装置と、
光受信機と、からなる光信号受信回路と、
光伝送路とから構成されることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項48】 請求項42に記載の光信号処理装置において、
空間フィルタが位相フィルタであり、
相対位相 ϕ が空間フィルタ上の位置 (x) に対して、
 $\phi(x) = \text{Mod}[ax^2, \pi]$ (a :定数)を近似した特性を持つことを特徴とする光信号処理装置。

【請求項49】 請求項42に記載の光信号処理装置において、
空間フィルタが位相フィルタであり、
相対位相 ϕ が空間フィルタ上の位置 (x) に対して、

$\phi(x) = \text{Mod}[ax^2, 2\pi]$ (a :定数)を近似した特性を持つことを特徴とする光信号処理装置。

【請求項50】 請求項42に記載の光信号処理装置において、

空間フィルタが位相フィルタであり、
相対位相 ϕ が空間フィルタ上の位置 (x) に対して、
 $\phi(x) = \pi/2$ ($x > 0$) かつ $\phi(x) = 0$ ($x < 0$)、あるいは、
 $\phi(x) = 0$ ($x > 0$) かつ $\phi(x) = \pi/2$ ($x < 0$) を近似した特性を持つ、強度変調一角度変調変換することを特徴とする光信号処理装置。

【請求項51】 請求項42に記載の光信号処理装置において、
空間フィルタが位相フィルタであり、
相対位相 ϕ が空間フィルタ上の位置 (x) に対して、
 $\phi(x) = \pi$ ($x > 0$) かつ $\phi(x) = 0$ ($x < 0$)、あるいは、
 $\phi(x) = 0$ ($x > 0$) かつ $\phi(x) = \pi$ ($x < 0$) を近似した特性を持つ、強度変調一角度変調変換することを特徴とする光信号処理装置。

【請求項52】 請求項42から50のいずれかに記載の光信号処理装置において、
空間フィルタが位相フィルタと強度フィルタから構成されることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項53】 請求項42から50のいずれかに記載の光信号処理装置において、
空間フィルタが、ガラス基板、透明電極、液晶、液晶配向膜から構成される液晶空間変調器であることを特徴とする光信号処理装置。

【請求項54】 前記請求項46に記載の光信号処理装置を用いて、
前記光信号送信回路の発生する光信号の周波数スペクトル位相を変調し、
前記光受信回路で前記光ファイバ中の分散と、前記光信号送信回路による周波数スペクトル位相変調を補償することを特徴とする光信号処理方法。

【請求項55】 前記請求項46に記載の光信号処理装置を用いて、
前記光信号送信回路の発生する光信号の周波数スペクトル強度を変調し、
前記光受信回路で前記光ファイバ中の分散と、前記光信号送信回路による周波数スペクトル強度変調を補償することを特徴とする光信号処理方法。

【請求項56】 前記請求項46に記載の光信号処理装置を用いて、
前記光信号送信回路の発生する光信号の周波数スペクトル位相及び周波数スペクトル強度を変調し、
前記光受信回路で前記光ファイバ中の分散と、前記光信号送信回路による周波数スペクトル位相変調及び周波数スペクトル強度変調を補償することを特徴とする光信号

処理方法。

【請求項57】 短パルス光源と、
第1の光増幅器と、
第1の光波長フィルタと、
前記第1の光波長フィルタの出力光をn（整数）本の光に分岐する第1の分岐手段と、
第1のn台の光変調回路と、
第1のn本の入出力用光導波路と、
導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、
前記第1のn本の入出力用光導波路の光導波路出力光を前記第1のアレイ導波路に分配する第1の分配手段と、
前記第1のアレイ導波路出力光を結像する第1の結像手段と、
前記第1の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する第1の空間フィルタと、
前記第1の空間フィルタで変調された光を反射する第1の反射手段と、
前記第1のn本の入出力用光導波路から前記反射光を取り出すための第2の光分岐手段と、
前記n個の第2の光分岐手段からの反射光を合波する第1の光合波手段と、
第2の光増幅器と、から構成される第1の光信号処理装置と、
光伝送路と、
第3の光増幅器と、
第2の光波長フィルタと、
前記第2の光波長フィルタの出力光をn（整数）本の光に分岐する第3の分岐手段と、
第2のn本の入出力用光導波路と、
導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第2のアレイ導波路と、
前記第2の入出力用光導波路の光導波路出力光を前記第2のアレイ導波路に分配する第2の分配手段と、
前記第2のアレイ導波路出力光を結像する第2の結像手段と、
前記第2の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する第2の空間フィルタと、
前記第2の空間フィルタで変調された光を反射する第2の反射手段と、
前記第2の入出力用光導波路から前記反射光を取り出すためのn個の第4の光分岐手段と、
前記n個の第4の光分岐手段からの反射光を受信するn台の光受信器と、
から構成される第2の光信号処理装置とから構成されることを特徴とする光信号処理装置。
【請求項58】 短パルス光源と、
第1の光増幅器と、
第1の光波長フィルタと、
前記第1の光波長フィルタの出力光をn（整数）本の光

に分岐する第1の分岐手段と、
第1のn台の光変調回路と、
第1のn本の入出力用光導波路と、
導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、
前記第1の入出力用光導波路の光導波路出力光を前記第1のアレイ導波路に分配する第1の分配手段と、
前記第1のアレイ導波路出力光を結像する第1の結像手段と、
前記第1の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する第1の空間フィルタと、
導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第2のアレイ導波路と、
前記第1の空間フィルタで変調された光を前記第2のアレイ導波路に結像する第2の結像手段と、
第1のn本の出力用光導波路と、
前記第2のアレイ導波路出力光を合波して前記第1のn本の出力用光導波路に結合する第1の光合波手段と、
前記第1のn本の出力用光導波路出力を合波する第2の光合波手段と、
第2の光増幅器と、から構成される第1の光信号処理装置と、
光伝送路と、
第3の光増幅器と、
第2の光波長フィルタと、
前記第2の光波長フィルタの出力光をn（整数）本の光に分岐する第3の分岐手段と、
第2のn本の入出力用光導波路と、
導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第3のアレイ導波路と、
前記第2の入出力用光導波路の光導波路出力光を前記第3のアレイ導波路に分配する第2の分配手段と、
前記第3のアレイ導波路出力光を結像する第3の結像手段と、
前記第3の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する第2の空間フィルタと、
導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第4のアレイ導波路と、
前記第2の空間フィルタで変調された光を前記第4のアレイ導波路に結像する第4の結像手段と、
第2のn本の出力用光導波路と、
前記第4のアレイ導波路出力光を合波して前記第2のn本の出力用光導波路に結合する第3の光結合手段と、
前記第2の出力用光導波路から出力光を受信するn台の光受信器と、
から構成される第2の光信号処理装置とから構成されることを特徴とする光信号処理装置。
【請求項59】 信号光の時系列光信号を空間信号光に変換する第1の時間－空間変換手段と、
参照光の時系列光信号を空間信号光に変換する第2の時

間一空変換手段と、
 前記第1の時間一空変換手段及び前記第2の時間一空変換手段からそれぞれ出力された空間信号光をそれぞれ結像させ、互いに干渉させる結像手段と、
 前記結像手段の焦点面近傍に配置されて前記結像手段に入射した複数の光信号の干渉光像を受光する受光手段と、
 前記受光手段の検出信号から前記信号光の時系列信号を復元する光信号復元回路とを具備することを特徴とする光信号処理装置。
 【請求項60】 請求項58に記載の光信号処理装置において、
 前記第1および第2の時間一空変換手段がアレイ導波路格子で構成され、前記結像手段が前記空間信号光をフーリエ変換する機能を有するスラブ導波路で構成されることを特徴とする光信号処理装置。
 【請求項61】 請求項58に記載の光信号処理装置において、
 前記第1および第2の時間一空変換手段が回折格子で構成され、前記結像手段が前記空間信号光をフーリエ変換するレンズで構成されることを特徴とする光信号処理装置。
 【請求項62】 請求項58から60のいずれかに記載の光信号処理装置において、
 前記受光手段がフォトダイオードアレイで構成されることを特徴とする光信号処理装置。
 【請求項63】 請求項58から61のいずれかに記載の光信号処理装置において、
 前記光信号復元回路は前記受光手段により検出されたフーリエ変換ホログラムの電界強度分布から、入射した前記信号光の光パルスの電界分布を演算処理により復元することを特徴とする光信号処理装置。
 【請求項64】 未知の信号光の時系列光信号を空間信号光に変換させる工程と、
 既知の参照光の時系列光信号を空間信号光に変換させる工程と、
 前記信号光の空間信号と前記参照光の空間信号をそれぞれ結像させて、互いに干渉させることにより時系列信号の周波数スペクトルに相当するパターンのホログラム像を焦点面に形成させる工程と、
 前記ホログラム像を受光して電気信号に変換させる工程と、
 前記電気信号に変換されたホログラム像から前記未知の信号光を所定の演算式を用いて復元する工程とを有することを特徴とする光信号処理方法。
 【請求項65】 請求項63に記載の光信号処理方法において、
 前記ホログラム像から前記未知の信号光を復元する工程が、前記焦点面に形成される前記ホログラム像に既知の参照光の電界分布から数学的に導出される再生光の電界

分布を掛け合わせる数学的演算操作と、その後のフーリエ変換操作及び空間時間変換操作とを有することを特徴とする光信号処理方法。
 【請求項66】 請求項64に記載の光信号処理方法において、
 前記ホログラム像に掛け合わせる前記焦点面における再生光の電界分布が、入力した前記既知の参照光の前記焦点面における電界分布の振幅分布の絶対値の2乗で除する因子を含んでいることを特徴とする光信号処理方法。
 【発明の詳細な説明】
 【0001】
 【発明の属する技術分野】本発明は、高速の光信号を処理、測定または記憶する方法および装置に関するものである。
 【0002】
 【従来の技術】従来の光信号処理回路の一例を図1に示す。この図において、201、205は回折格子、202、204はレンズ、203は空間フィルタあるいは光記憶媒体である。この光回路に時系列信号光を入射すると、回折格子201の周波数分解機能とレンズ202のフーリエ変換機能により、時系列信号光のフーリエ変換、すなわち周波数スペクトル分布が空間フィルタ203上に形成される。周波数スペクトル分布に空間フィルタ203で変調を加えると、時系列信号の波形を変調することができる。ここでは、時系列信号が極めて高速である場合にも空間フィルタ203によって波形の制御が可能である。
 【0003】一例として、図2上段にて示すパルス幅200fs、パルス間隔5psの光信号を入射した場合、入射光スペクトルは図3上段に示す形状を有しており、回折格子201、レンズ202を透過後空間フィルタ203上では図3中段の破線にて示す光強度分を有し、これを空間フィルタ203にて変調すると、空間フィルタ203透過後のスペクトルには図3下段にて示す形状となる。そして、このスペクトルに対応する時間波形は図2下段にて示すパルス列となる。こうして、光信号の周波数スペクトルを空間フィルタ203にて変調することにより、光信号処理を行うことができる。つまり、フィルタに対応した各種の波形整形が可能となる。
 【0004】また、図1に示す203を光記憶媒体として、時系列信号光と参照光とを同時に入射することにより光記憶媒体203上にて双方の光の干渉縞がホログラム記録される。記録後、参照光のみ入射すれば、信号光が再生されて出力される。このような研究の報告は、例えば、A. M. Weiner, "Programable shaping of Femto second optical pulses by use of 128-Element Liquid Crystal Phase Modulator, " IEEE J Quntun Electronics, Vol.28, No.4, pp.908-920(1992) : A.Weiner et al., "Optics Letters, vol.17, pp.224-226(1992)がある。

【0005】光通信技術の進歩に従って光伝送に利用される光信号のパルス幅は実用化段階で100ps (ex; FA-10Gシステム)、次世代の超大容量伝送装置では1-10psのピコ秒パルスが利用されるところと考えられる。フェムト秒領域の光パルスは、安定な光源の研究開発および材料評価へ用いることが当面の通用領域であり、光通信への適用は当面ないものと考えられる。すなわち、1-10psの光パルスの光パルス発生、波形整形、波形測定、波形記録、相関処理等を可能とする基本的装置、方法が次世代の超大容量システムを構成するために必要とされている。

【0006】しかしながら、上述の従来技術では次の問題を有する。すなわち、上述の変調を行うにしてもあるいはホログラム記録をするにしても、回折格子201、205、レンズ202、204、空間フィルタ203全てを高精度に配置する必要がある、外部環境に対して影響を受けやすくモジュール化も困難で、いわゆる実験室環境でなければ動作させることが不可能に近い。すなわち、実用として現実的ではない。

【0007】また、時系列信号を扱う場合原理的に一次元の回折格子、レンズにて信号処理が可能なのであるが、回折格子やレンズは二次元配置の冗長な構成となり、その点本来的に必要な位置合せが必要となる。

【0008】さらに、例えば10ps以上の長いパルス列を扱う場合あるいはパルス幅の長いパルス列を扱う場合には、入射ビーム径を大きくし大型の回折格子やレンズが必要となって装置が大型化せざるを得ない。

【0009】すなわち、従来のフェムト秒パルスに対して有効な回折格子対とレンズを用いた構成は、ピコ秒パルスに対しては装置が極めて大型になり、伝送装置の30×40×3cm程度のパッケージに組み込むことは困難である。さらに、光ファイバとの接続光学系が必要であり、パルスに応じた柔軟な装置設計ができない。

【0010】従来、ピコ秒パルスの発生手段には、半導体モードロックレーザが知られている。

【0011】図4は、従来の短パルス光源として用いられるモードロック型レーザの構成を示す。

【0012】図において、モードロック型レーザは、光増幅媒質51、光増幅媒質51に反転分布を形成する励起回路52、光共振器を構成するミラー53-1、53-2、光共振器内に配置される光変調器54、光変調器54を駆動する回路であるクロック発生器55により構成される。本構成では、クロック発生器55が光共振器の共振モード間隔にはほぼ等しい周波数またはそのほぼ整数倍の周波数のクロックで光変調器54を駆動すると、クロック周波数またはその整数倍の周波数に等しい繰り返し周波数の光短パルス列が発生する。

【0013】図5は、多数の波長の光を同時に発振する多波長光源の構成を示す。

【0014】図において、多波長光源は、光増幅媒質6

1、アレイ導波路回折格子62、光増幅媒質61とアレイ導波路回折格子62を結合するレンズ63、光増幅媒質61の両端面に配置される高反射ミラー64および低反射コーティング65と、アレイ導波路回折格子62の他端に配置される高反射ミラー66により構成される。

【0015】アレイ導波路回折格子62は、基板70上に、1本の入力導波路71と、導波路長差ΔLで順次長くなる複数本の導波路からなるアレイ導波路73と、複数本の出力導波路75と、入力導波路71とアレイ導波路73とを接続するスラブ導波路72と、アレイ導波路73と出力導波路75とを接続するスラブ導波路74とを形成したものである。

【0016】入力導波路71に入射された光は、スラブ導波路72で回折により広がり、その回折面と垂直に配置されたアレイ導波路73の各導波路に等位相で入射し分配される。アレイ導波路73の各導波路を伝搬してスラブ導波路74に到達した光には、導波路長差ΔLに対応する位相差が生じている。この位相差は波長により異なるので、スラブ導波路74のレンズ効果でその焦点面（出力導波路75の入力端）に結像する際に、波長ごとに異なる位置に結像する。したがって、出力導波路75の各導波路には異なる波長の光が取り出される。

【0017】このようなアレイ導波路回折格子62を用いた多波長光源では、高反射ミラー64と高反射ミラー66との間に光共振器が形成され、光増幅媒質61を定常的に励起することにより多数の波長の光を同時に発振させることができる。

【0018】ところで、従来のモードロック型レーザには次のような3つの問題点がある。

【0019】(1) 発振モード包絡線スペクトルが動作条件で大きく変動し、中心波長およびパルス幅を設定することが困難である。

【0020】(2) 各モードごとの強度と位相を独立に制御することができないので、パルス形状の設計が困難である。

【0021】(3) 非常に多数のモードが励起されると、長共振器の半導体媒質の分散および非線形効果でモード間の相関が不十分となり、トランスフォーマリミットの光短パルス列を発生させることが困難である。

【0022】また、図5に示すような多波長光源は、各モードに対する位相が制御されていないので、モードロックして高繰り返し周波数の光短パルス列を発生させることができない。

【0023】以上説明したように、従来、ピコ秒パルスの発生手段には、半導体モードロックレーザがあるが、光通信光源として利用するためには、位相、強度が安定であること、中心波長およびパルス幅・パルス形状の設定（設計・製作）が可能であること、トランスフォーマリミットに近い高品質なパルスを発生させることが必要である。しかしながら、現状の半導体モードロックレー

ずではこれらの要求を同時に満たすことは困難である。また、図1に示す従来技術を半導体モードロック光源に組み込むことは極めて難しく、研究報告例もない。

【0024】ところで、超高速の光伝送装置においては、光ファイバ中の群速度分散による波形の歪みが伝送距離を制限する第1の要因である。伝送路の分散特性は、環境温度の変化、経時的な材質は被覆の変化によって生じる。この分散特性は、また、伝送路の支障切り替えに付随して別の光ファイバに切り替える場合に变化する。あるいは、光ファイバの分散に変化が無くとも、光源波長やフィルタ特性の変化によって信号光の感受する分散値は変化する。

【0025】一般に用いられている分散の少ない分散シフト光ファイバでも $\pm 1 \text{ ps/nm/km}$ 程度の分散があるので、80kmの伝送区間では $\pm 80 \text{ ps/nm}$ の分散となる。20Gbit/sでパルス幅10psの信号光の光帯域は約1nmであるので、最大80ps程度のパルス広がりを生じる。ところが、20Gbit/s信号のタイムスロットは50psであるから、多大な符号間干渉が生じて大きな誤りが生じる。このため、伝送路の分散を補償（等化）する装置が、超高速の伝送装置では不可欠である。

【0026】従来の技術の一例を図6に示す。ここで、図6中、符号01は光増幅器、02は光スイッチ、03は分散補償ファイバである。

【0027】従来の技術は、光信号を伝送路中の分散と正反対の分散特性を持つ別の光ファイバを通して分散を補償して良好な波形を得る構成である。

【0028】分散補償ファイバ03の分散特性は可変できないので、いくつかの分散特性を持つファイバを用意し、伝送路の分散特性の変化に対応して分散を補償するのが一般的である。

【0029】しかしながら、従来の技術には以下のような問題があった。

【0030】(i) 高次の分散の補償が困難である。

【0031】(ii) 分散を補償するために多数のファイバを用意する必要がある。特に、超高速の光信号では分散の許容範囲が狭いので、僅かずつ分散値を変えたファイバが必要である。このため、装置が大型化し多端子の光スイッチが必要である。

【0032】(iii) 光スイッチによって分散補償ファイバを切り替えるため、切り替え中に光信号の瞬断が生じる。

【0033】また、従来の別の技術の一例として、チャープドファイバグレーティング、多断接続されたMZ干渉器の構成があるが、以下のような問題があった。

【0034】(iv) 分散補償の中心波長の制御幅が小さく、補償帯域が狭い。

【0035】超高速の光伝送装置において光ファイバ中の自己位相変調による波形の歪みが伝送距離を制限する

第2の原因である。従来の他の一例を図7に示す。ここで、図7中、符号04は光送信器、05は高分散ファイバ、06は光増幅器、07は光伝送路、08は分散補償回路、09は光受信器である。

【0036】この構成では分散補償を前提に予め高分散媒体中に光信号を通してパルス幅を広げて自己位相変調を低減する伝送方法である。自己位相変調は、光パルスピーク強度にほぼ比例して生じるので、パルス幅を広げてピークパワーを下げると、低減することができる。分散は補償して波形を再生できるが、非線形現象である自己位相変調による波形の劣化は、通常の線形の波形等化方法では再生することができないので、伝送路中でできる限り非線形現象が生じない伝送装置が要求される。

【0037】しかしながら、従来の技術には以下のような問題があった。

【0038】(v) 伝送路中の分散の変化が予め予測ができないので、伝送途中で分散が偶然に等化され、自己位相変調が生じて波形の劣化、誤りの増大が起こる可能性がある。

【0039】このように、従来、ピコ秒パルスの波形整形（例えば分散補償）手段としては、伝送路中の分散と正反対の分散特性を持つ別の光ファイバ、チャープドファイバグレーティング、多断接続されたMZ干渉器がある。しかしながら、高次の分散の補償、可変分散補償、広帯域な補償が困難である。また、図1に示す従来技術では、補償可能な分散量が非常に小さい。例えば、2psのパルス幅の光パルスに対しては 5 ps/nm 程度の補償しかできない。

【0040】また、上述のような光信号処理装置では、より高速の光信号の波形を観測することが必要になってきている。

【0041】従来、波形測定・記録手段としては、超高速のO/E変換器あるいは、ストリークカメラがある。しかしながら、O/E変換器の帯域は高々50GHzであり1~10psのピコ秒パルスの測定は不可能である。また、ストリークカメラは光通信の波長帯では感度が低いため、単一掃引では十分なS/Nが得られず実時間波形が観測できない。図1に示す従来技術を用いた研究報告例はない。従来技術をそのまま適用した場合にはフーリエ変換面上に2次元的に光が分布するため、特殊な光学系を考案しないとS/Nの高い測定が困難である。

【0042】

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は、前述のように、1~10psの光パルスの発生、波形整形、波形測定、波形記録、相関処理等を可能にする光信号処理装置および光信号処理方法を提供することにある。

【0043】

【課題を解決するための手段】このような課題に適する本発明に係る光信号処理装置の基本的構成は、光導波路

と、前記光導波路の出力光を等分に分配する第1の手段と、光路長が一定間隔で変化する光導波路の集合体からなり、前記出力光を分光する導波路アレイと、前記導波路アレイの光出力を結像する第2の手段と、前記第2の手段により結像した光の入射を受けて該入射光を直線上に分布するとともに該前記直線上の位置に応じて所望の強度または位相に変調して反射する空間フィルタとを備えたことを特徴とするものである。

【0044】さらに、本発明の光信号処理装置の他の構成は、第1の光導波路と、前記第1の光導波路の出力光を等分に分配する第1の手段と、光路長が一定間隔で変化する光導波路の集合体からなり、前記出力光を分光する第1の導波路アレイと、前記第1の導波路アレイの光出力を結像する第2の手段と、前記第2の手段により結像した光の入射を受けて該入射光を直線上に分布するとともに該直線上の位置に応じて所望の強度に変調し透過する空間フィルタと、前記空間フィルタで変調された光を、光路長が一定間隔で変化する光導波路の集合体からなる第2の導波路アレイに入射する第3の手段と、前記第2の導波路アレイと、前記第2の導波路アレイの出力光を一点に収束する第4の手段と、前記第4の手段の出力光が入射する第2の光導波路とを備えることを特徴とする。

【0045】また、本発明の光信号処理装置の他の構成は、反射型の空間フィルタと、光路長が一定間隔で変化する光導波路の集合体からなる導波路アレイと、前記反射型の空間フィルタにコヒーレント光を入力すると同時に、前記反射型の空間フィルタで変調された前記コヒーレント光を前記導波路アレイに入射する第1の手段と、前記導波路アレイの出力光を一点に収束する第2の手段とを備えたことを特徴とする。

【0046】また、本発明の光信号処理装置のさらに他の構成は、透過型の空間フィルタと、光路長が一定間隔で変化する光導波路の集合体からなる導波路アレイと、前記透過型の空間フィルタにコヒーレント光を入力する第1の手段と、前記透過型の空間フィルタで変調された前記コヒーレント光を前記導波路アレイに入射する第2の手段と、前記導波路アレイの出力光を一点に収束する第3の手段とを備えたことを特徴とする。

【0047】本発明の光信号処理方法は、導波路アレイと空間フィルタとを有する光信号処理装置に、光信号を入力することにより、前記光信号を周波数スペクトル像に変換し、前記周波数スペクトル像に前記空間フィルタによって所望の変調を施し、変調された前記周波数スペクトル像を一点に集光して新たな光信号を得ることを特徴とする。

【0048】この光信号処理方法において、用いる光信号処理装置は、前述の光信号処理装置が望ましい。

【0049】また、本発明の光信号処理方法の他の構成は、導波路アレイと、所望の光信号の周波数スペクトル

に相当とするホログラム像が書き込まれた空間フィルタとを有する光信号処理装置に、コヒーレント光を入力することにより、光信号を発生させることを特徴とする。

【0050】また、前記本発明の基本構成の光信号処理装置を元にして、処理する光信号の波形を観測できる装置構成が可能である。

【0051】そのような波形観測可能な光信号処理装置は、光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなるアレイ導波路と、前記光導波路の出力光を前記アレイ導波路に分配する分配手段と、前記アレイ導波路の出力光を結像する結像手段と、前記結像手段の焦点面近傍に配置されて光の像を変調する空間フィルタと、前記空間フィルタで変調された光を反射する反射手段と、前記光導波路にて前記反射手段からの反射光を取り出すための光分岐手段とから構成されることを特徴とする。

【0052】あるいは、第1の光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、前記第1の光導波路の出力光を前記第1のアレイ導波路に分配する分配手段と、前記第1のアレイ導波路の出力光を結像する第1の結像手段と、前記第1の結像手段の焦点面近傍に配置されて光の像を変調する空間フィルタと、さらに、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第2のアレイ導波路と、前記空間フィルタで変調された光を前記第2のアレイ導波路に結像する第2の結像手段と、第2の光導波路と、前記第2のアレイ導波路の出力光を合波して前記第2の光導波路に結合する合波手段とから構成されることを特徴とする。

【0053】さらに、第1の光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、前記第1の光導波路の出力光を前記第1のアレイ導波路に分配する分配手段と、参照光入射用光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第2のアレイ導波路と、前記参照光入射用光導波路の出力光を前記第2のアレイ導波路に分配する第2の分配手段と、前記第1のアレイ導波路の出力光と前記第2のアレイ導波路の出力光を結像する結像手段と、前記結像手段の焦点面近傍に配置された光記録媒体と、前記第1の光導波路から前記反射光を取り出すための光分岐手段とから構成されることを特徴とする。

【0054】また、この波形観測可能な装置の他の構成は、第1の光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、前記第1の光導波路の出力光を前記第1のアレイ導波路に分配する第1の分配手段と、参照光入射用光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第3のアレイ導波路と、前記参照光入射用光導波路の出力光を前記第3のアレイ導波路に分配する第2分配手段と、前記第1のアレイ導波路の出力光と前記第3のアレイ導波路の出力光を結像する第1の結像手段と、前記第1の結像手段

の焦点面近傍に配置された光記録媒体と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第2のアレイ導波路と、前記光記録媒体で変調された光を前記第2のアレイ導波路に結像する第2の結像手段と、第2の光導波路と、前記第2のアレイ導波路出力光を合波して前記第2の光導波路に結合する合波手段とから構成されることを特徴とする。

【0055】さらに、波形観測可能な装置の他の構成は、第1の光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、前記第1の光導波路の出力光を前記第1のアレイ導波路に分配する第1の分配手段と、第1の参照光入射用光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第2のアレイ導波路と、前記第1の参照光入射用光導波路の出力光を前記第2のアレイ導波路に分配する第2の分配手段と、第2の参照光入射用光導波路と、前記第1のアレイ導波路の出力光と前記第2のアレイ導波路の出力光と前記第2の参照光入射用光導波路の出力光を結像する第1の結像手段と、前記第1の結像手段の焦点面近傍に配置された光記録媒体と、前記光記録媒体で変調された光を結像する第2の結像手段と、前記第2の結像手段の焦点面近傍に配置された受光器アレイとから構成されることを特徴とする。

【0056】前記波形観測可能な装置において、前記結像手段が円周端面を有するスラブ導波路であってもよい。

【0057】同様に、前記結像手段が、スラブ導波路と位相空間変調素子とから構成されていてもよい。

【0058】同様に、前記空間フィルタが位相フィルタであってもよく、強度フィルタでも、強度フィルタと位相フィルタを多段に接続した空間フィルタであってもよい。

【0059】同様に、前記位相空間変調素子の焦点距離が前記結合手段のスラブ導波路の焦点距離に等しくてもよい。

【0060】同様に、前記空間フィルタと反射手段とを兼用して多数の部分ミラーから構成されたパターンミラーとしてもよい。

【0061】同様に、前記空間フィルタが位相空間変調素子の機能を兼用する空間フィルタであってもよい。

【0062】同様に、前記結像手段がレンズであってもよい。

【0063】同様に、前記結像手段が焦点面のスラブ導波路で、スラブ導波路端に位相調整アレイ導波路を具備し、位相調整アレイ導波路端が前記空間フィルタに接続されていてもよい。

【0064】同様に、前記結像手段が焦点面のスラブ導波路で、スラブ導波路端に位相調整アレイ導波路を具備し、位相調整アレイ導波路に光変調器アレイを具備してもよい。

【0065】同様に、前記位相調整アレイ導波路の導波路間の位相差が 2π の整数倍であってもよい。

【0066】同様に、前記光分岐手段が光サーキュレータであってもよい。

【0067】同様に、前記結像手段がスラブ導波路であり、スラブ導波路端に導波路と垂直方向に光を屈曲させる光屈曲手段を具備してもよい。

【0068】同様に、前記空間フィルタが、ガラス基板、透明電極、液晶、液晶配向膜から構成される液晶空間変調器であってもよい。

【0069】同様に、前記液晶空間変調器内に1/4波長板を具備してもよい。

【0070】同様に、前記液晶空間変調器の液晶がツイストネマティック型であってもよい。

【0071】また、前記波形観測可能な光信号処理装置による光信号処理法は、前記光導波路に時系列光信号を入力することにより、前記時系列光信号を周波数スペクトル像に変換し、前記周波数スペクトル像に前記空間フィルタによって所望の位相または強度または両方の変調を施し、変調された光を合波して新しい時系列光信号を得ることを特徴とする。あるいは、空間フィルタのフィルタ特性が所望の時系列光信号の周波数スペクトルに相当するパターンのホログラム像であり、コヒーレントパルス光を前記光導波路に入射することにより所望の光信号を発生することとを特徴とするものでもよい。さらに、光導波路に信号光を入射し、参照光入力用導波路にコヒーレントパルス光の参照光を入射し、記録媒体にホログラム記録し、参照光入力用導波路に別のコヒーレントパルス光の参照光を入射し、信号光の位相共役光を出力することとを特徴とするものでもよい。また、光導波路に信号光を入射し、参照光入力用導波路にコヒーレントパルス光の参照光を入射し、記録媒体にホログラム記録し、参照光入力用導波路に別のコヒーレントパルス光の参照光を入射し、信号光、あるいは、信号光と参照光の相関光を出力することとを特徴とするものでもよい。さらにまた、光導波路に信号光を入射し、第1の参照光入力用導波路にコヒーレントパルス光の参照光を入射し、第2の参照光入力用導波路に単色光の参照光を入射し、受光器アレイ上に信号光波形の空間像を形成し、パルス波形を観測することとを特徴とするものでもよい。

【0072】また、本発明によれば、前述の基本構成の光信号処理装置に基づき、処理する光信号の分散補償を行うことができる光信号処理装置を提供することができる。

【0073】このような分散補償を行うことのできる光信号処理装置は、第1の光増幅器と、光波長フィルタと、第1の光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、前記第1の光導波路出力光をアレイ導波路に分配する分配手段と、前記第1のアレイ導波路出力光を結像する第1の結像手

段と、前記第1の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する空間フィルタと、前記空間フィルタで変調された光を反射する反射手段と、前記第1の光導波路から前記反射光を取り出すための光分岐手段と、第2の光増幅器とから構成されることを特徴とする。

【0074】この分散補償のできる光信号処理装置の他の構成は、第1の光増幅器と、光波長フィルタと、第1の光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、前記第1の光導波路出力光をアレイ導波路に分配する分配手段と、前記第1のアレイ導波路出力光を結像する第1の結像手段と、前記第1の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する空間フィルタと、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第2のアレイ導波路と、前記空間フィルタで変調された光を前記第2のアレイ導波路に結像する第2の結像手段と、第2の光導波路と、前記第2のアレイ導波路出力光を合波して前記第2の光導波路に結合する合波手段と、第2の光増幅器とから構成されることを特徴とする。

【0075】さらに、前記分散補償型の光信号処理装置と、光源と、光変調器と、光変調信号発生回路とから構成される光信号処理装置も可能である。

【0076】さらにまた、前記分散補償型の光信号処理装置と、光受信器と、から構成される光信号処理装置も可能である。

【0077】同様に、前記分散補償型の光信号処理装置と、光源と、光変調器と、光変調信号発生回路と、からなる光信号送信回路と、前記分散補償型載の光信号処理装置と、光受信機と、からなる光信号受信回路と、光伝送路と、から構成される光信号処理装置も可能である。

【0078】前記分散補償型の光信号処理装置において、空間フィルタが位相フィルタであり、相対位相 ϕ が空間フィルタ上の位置 (x) に対して、 $\phi(x) = \text{Mod}[ax^2, \pi]$ (a :定数)を近似した特性を持ってもよい($\text{Mod}[u, v]$ は v を法とする剰余を示す。)。

【0079】同様に、空間フィルタが位相フィルタであり、相対位相 ϕ が空間フィルタ上の位置 (x) に対して、

$\phi(x) = \text{Mod}[ax^2, 2\pi]$ (a :定数)を近似した特性を持ってもよい($\text{Mod}[u, v]$ は v を法とする剰余を示す。)。

【0080】同様に、空間フィルタが位相フィルタであり、相対位相 ϕ が空間フィルタ上の位置 (x) に対して、

$\phi(x) = \pi/2 (x>0)$ かつ $\phi(x) = 0 (x<0)$ 、あるいは、

$\phi(x) = 0 (x>0)$ かつ $\phi(x) = \pi/2 (x<0)$

を近似した特性を持つ、強度変調- 角度変調変換するこ

とを特徴としてもよい。

【0081】同様に、空間フィルタが位相フィルタであり、相対位相 ϕ が空間フィルタ上の位置 (x) に対して、

$\phi(x) = \pi (x>0)$ かつ $\phi(x) = 0 (x<0)$ 、あるいは、

$\phi(x) = 0 (x>0)$ かつ $\phi(x) = \pi (x<0)$ を近似した特性を持つ、強度変調- 角度変調変換することを特徴としてもよい。

【0082】また、前記分散補償可能な光信号処理装置において、空間フィルタが位相フィルタと強度フィルタから構成されてもよい。

【0083】同様に、空間フィルタが、ガラス基板、透明電極、液晶、液晶配向膜から構成される液晶空間変調器であってもよい。

【0084】また、前記分散補償可能な光信号処理装置による光信号処理方法は、前記光信号送信回路の発生する光信号の周波数スペクトル位相を変調し、前記光受信回路で前記光ファイバ中の分散と、前記光信号送信回路による周波数スペクトル位相変調を補償することを特徴とする。

【0085】同光信号処理方法の他の構成は、前記光信号送信回路の発生する光信号の周波数スペクトル強度を変調し、前記光受信回路で前記光ファイバ中の分散と、前記光信号送信回路による周波数スペクトル強度変調を補償することを特徴とする。

【0086】同様に、他の構成は、前記光信号送信回路の発生する光信号の周波数スペクトル位相及び周波数スペクトル強度を変調し、前記光受信回路で前記光ファイバ中の分散と、前記光信号送信回路による周波数スペクトル位相変調及び周波数スペクトル強度変調を補償することを特徴とする。

【0087】また、分散補償可能な光信号処理装置のさらに他の構成は、短パルス光源と、第1の光増幅器と、第1の光波長フィルタと、前記第1の光波長フィルタの出力光を n (整数)本の光に分岐する第1の分岐手段と、第1の n 台の光変調回路と、第1の n 本の入出力用光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、前記第1の n 本の入出力用光導波路の光導波路出力光を前記第1のアレイ導波路に分配する第1の分配手段と、前記第1のアレイ導波路出力光を結像する第1の結像手段と、前記第1の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する第1の空間フィルタと、前記第1の空間フィルタで変調された光を反射する第1の反射手段と、前記第1の n 本の入出力用光導波路から前記反射光を取り出すための第2の光分岐手段と、前記 n 個の第2の光分岐手段からの反射光を合波する第1の光合波手段と、第2の光増幅器と、から構成される第1の光信号処理装置と、光伝送路と、第3の光増幅器と、第2の光波長フィルタと、前記第2

の光波長フィルタの出力光を n (整数) 本の光に分岐する第3の分岐手段と、第2の n 本の入出力用光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第2のアレイ導波路と、前記第2の入出力用光導波路の光導波路出力光を前記第2のアレイ導波路に分配する第2の分配手段と、前記第2のアレイ導波路出力光を結像する第2の結像手段と、前記第2の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する第2の空間フィルタと、前記第2の空間フィルタで変調された光を反射する第2の反射手段と、前記第2の入出力用光導波路から前記反射光を取り出すための n 個の第4の光分岐手段と、前記 n 個の第4の光分岐手段からの反射光を受信する n 台の光受信器と、から構成される第2の光信号処理装置とから構成されることを特徴とする。

【0088】さらにまた、分散補償可能な光信号処理装置の他の構成は、短パルス光源と、第1の光増幅器と、第1の光波長フィルタと、前記第1の光波長フィルタの出力光を n (整数) 本の光に分岐する第1の分岐手段と、第1の n 台の光変調回路と、第1の n 本の入出力用光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第1のアレイ導波路と、前記第1の入出力用光導波路の光導波路出力光を前記第1のアレイ導波路に分配する第1の分配手段と、前記第1のアレイ導波路出力光を結像する第1の結像手段と、前記第1の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する第1の空間フィルタと、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第2のアレイ導波路と、前記第1の空間フィルタで変調された光を前記第2のアレイ導波路に結像する第2の結像手段と、第1の n 本の出力用光導波路と、前記第2のアレイ導波路出力光を合波して前記第1の n 本の出力用光導波路に結合する第1の光合波手段と、前記第1の n 本の出力用光導波路出力を合波する第2の光合波手段と、第2の光増幅器と、から構成される第1の光信号処理装置と、光伝送路と、第3の光増幅器と、第2の光波長フィルタと、前記第2の光波長フィルタの出力光を n (整数) 本の光に分岐する第3の分岐手段と、第2の n 本の入出力用光導波路と、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第3のアレイ導波路と、前記第2の入出力用光導波路の光導波路出力光を前記第3のアレイ導波路に分配する第2の分配手段と、前記第3のアレイ導波路出力光を結像する第3の結像手段と、前記第3の結像手段の焦点面近傍に配置された、光の像を変調する第2の空間フィルタと、導波路長が順次長くなる複数本の光導波路からなる第4のアレイ導波路と、前記第2の空間フィルタで変調された光を前記第4のアレイ導波路に結像する第4の結像手段と、第2の n 本の出力用光導波路と、前記第4のアレイ導波路出力光を合波して前記第2の n 本の出力用光導波路に結合する第3の光結合手段と、前記第2の出力用光導波路から出力光を受信する n 台の光受信器と、から構成される第2の光信

号処理装置とから構成されることを特徴とする。

【0089】また、前述の本発明の基本構成の光信号処理装置に基づいて、処理する光信号の波形を実時間で観測することのできる光信号処理装置を提供することができる。

【0090】そのような波形観測可能な光信号処理装置は、信号光の時系列光信号を空間信号光に変換する第1の時間-空間変換手段と、参照光の時系列光信号を空間信号光に変換する第2の時間-空間変換手段と、前記第1の時間-空間変換手段及び前記第2の時間-空間変換手段からそれぞれ出力された空間信号光をそれぞれ結像させ、互いに干渉させる結像手段と、前記結像手段の焦点面近傍に配置されて前記結像手段に入射した複数の光信号の干渉光像を受光する受光手段と、前記受光手段の検出信号から前記信号光の時系列信号を復元する光信号復元回路とを具備することを特徴とする。

【0091】この波形観測可能な光信号処理装置において、前記第1および第2の時間-空間変換手段がアレイ導波路格子で構成され、前記結像手段が前記空間信号光をフーリエ変換する機能を有するスラブ導波路で構成されてもよい。

【0092】同様に、前記波形観測可能な光信号処理装置において、前記第1および第2の時間-空間変換手段が回折格子で構成され、前記結像手段が前記空間信号光をフーリエ変換するレンズで構成されてもよい。

【0093】同様に、前記波形観測可能な光信号処理装置において、前記受光手段がフォトダイオードアレイで構成されてもよい。

【0094】同様に、前記波形観測可能な光信号処理装置において、前記光信号復元回路は前記受光手段により検出されたフーリエ変換ホログラムの電界強度分布から、入射した前記信号光の光パルスの電界分布を演算処理により復元してもよい。

【0095】前記波形観測可能な光信号処理装置による信号処理方法は、未知の信号光の時系列光信号を空間信号光に変換させる工程と、既知の参照光の時系列光信号を空間信号光に変換させる工程と、前記信号光の空間信号と前記参照光の空間信号をそれぞれ結像させて、互いに干渉させることにより時系列信号の周波数スペクトルに相当するパターンのホログラム像を焦点面に形成させる工程と、前記ホログラム像を受光して電気信号に変換させる工程と、前記電気信号に変換されたホログラム像から前記未知の信号光を所定の演算式を用いて復元する工程とを有することを特徴とする。

【0096】この光信号処理方法において、前記ホログラム像から前記未知の信号光を復元する工程が、前記焦点面に形成される前記ホログラム像に既知の参照光の電界分布から数学的に導出される再生光の電界分布を掛け合わせる数学的演算操作と、その後のフーリエ変換操作及び空間-時間変換操作とを有してもよい。

【0097】さらに、この信号処理方法において、前記ホログラム像に掛け合わせる前記焦点面における再生光の電界分布が、入力した前記既知の参照光の前記焦点面における電界分布の振幅分布の絶対値の2乗で除する因子を含んでいてもよい。

【0098】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を説明するが、本発明は以下の実施形態例に限定されるものではない。

（実施形態例1）本発明の第1の実施形態例に係る光信号の処理を行う方法とその構成を、図8を参照して説明する。

【0099】図8に示すように、入力光信号 $u(t)$ は、石英導波路1に入射した後、スターカップラ2によって、N本の導波路アレイ3に分岐される。導波路アレイ3は、入射面 S_1 と出射面 S_2 の間でそれぞれが ΔL の光路長差を持つように設定されている。ここで、 S_1 は石英導波路1のスターカップラ2への入射端を中心とする円周上にあり、 S_2 は S_3 の中心を中心とする円周上に配置した場合にもっとも高性能な分光特性を示す。

【0100】そのため、導波路アレイ3からスラブ導波路4への出射端において、それぞれの光ビームは $n\Delta L$ の位相差（ n は導波路の屈折率）を持つため、回折格子と同様な分波機能を持つことが知られている（例えば、H. Takahashi et al., IEEE J. Lightwave Tech. Vol.12 (No.6), pp.989-995(1994); M. K. Smit Electron. Lett. vol.24, pp.385-386, (1988); C. Dragone et al., IEEE photon. Technol. Lett., vol.3, pp.896-899 (1991)）。

【0101】従来、このような導波路アレイ2, 3, 4は、波長多重光伝送における光分波器としての使用がよく知られている。

【0102】本発明者らは、導波路アレイ3に時系列な光信号を入射したとき、この光信号の時間周波数スペクトルがレンズを用いなくとも空間的な像として形成できることを発見した。さらに、本発明者らは、高分解能な導波路アレイ設計法を見出し、この原理に基づく光信号処理への応用を考案した。

【0103】すなわち、導波路アレイを用いれば、スラブ導波路4の焦点面 S_3 においては、入射光信号のフーリエ変換 $U(\nu)$ を空間的に結像することができる。

【0104】周波数分解能は、 m 次の回折光を用いたとき、 Nm に比例することを見いだした。ただし、 N は、導波路アレイ3の導波路の数である。したがって、 m を大きくすれば、周波数分解能が N に比例する通常の回折格子に比較して、大きな分解能を得ることができる。この指針にしたがって最適に設計すれば、極めて高分解能の高い導波路アレイを得ることができ、高速で長い光パルス列のスペクトル分解が可能となる。

【0105】以上のような高分解能の導波路アレイの焦点面 S_3 に反射型の空間フィルタ5を設置してやると、この空間フィルタ5の空間周波数のパターンを $H(\nu)$ とすれば、 $U(\nu)H(\nu)$ の光パターンが反射されて、アレイ導波路3、スターカップラ2を戻り、石英導波路1から出射される。

【0106】このときの出力光信号は、 $u(t)*h(t)$ となる。ここで、 $*$ は、2つの信号のコンボリューションを表す。

【0107】すなわち、任意の空間フィルタ5を置くことにより、入射信号光の周波数領域での処理を行うことができる。外部と石英導波路1との入出力は、例えば、カップラのついた光ファイバを用いて行う。

【0108】図8の構成において、焦点面 S_3 は、 S_2 の中心を中心とする円周上にあるので、空間フィルタ5が平面である場合、一般に出力波形に歪みが生じる。この歪みは中心周波数に対して2次関数的に位相が変化すると、近似されるので、本構成は2次分散特性を持っていることと、近似的に等しい。これを補正するには、入力光あるいは出力光を本構成と逆の符号で大ききの等しい分散媒質を透過させればよい。また、あるいは空間フィルタ5を分散を補償する効果を含めて設計すればよい。

【0109】この方法の具体的な応用例として、光信号 $u(t)$ が何らかの装置、例えば、長距離の光ファイバ通信回線を通り、 $f(t)=u(t)*h(t)$ のような歪みを受けた場合を考える。

【0110】この歪んだ信号 $f(t)$ を元の信号 $u(t)$ に戻すために、図9に示すような光信号処理装置を用いることができる。光信号処理の原理を示した図8では反射型の構成としたが、この図9に示す装置では、透過型とした。

【0111】図9に示すように、何らかの歪みを持つ光信号 $f(t)$ が光コネクタ6を介して光ファイバ7から石英光回路8に入射する。

【0112】石英光回路8は、図10に示すように、導波路9, 13、スターカップラ10, 14、導波路アレイ11, 15およびスラブ導波路12, 16が、空間フィルタ17に対して、左右対称に配置されたものである。

【0113】導波路アレイ11, 15には、偏波依存性をなくすために、必要に応じて、途中に、半波長板18, 18が設置される。

【0114】入力信号光は、導波路9を伝搬した後、スターカップラ10により導波路アレイ11に入射し、スラブ導波路12内の焦点面 S_3 にフーリエ変換 $F(\nu)=U(\nu)H(\nu)$ を結像する。

【0115】ここで、空間フィルタ17としては、次のようなパターンのものを焦点面に置くと、信号との積により、 $U(\nu)$ となる。

【0116】 $H^*(v)/H(v)^2$

これがスラブ導波路16、導波路アレイ15、スターカップラ14を通ると、逆フーリエ変換され復元された光信号 $u(t)$ が導波路13から取り出せる。強度的に減衰が大きい場合には、光増幅器19を通して光コネクタ6により外部に出力される。

【0117】ここで、空間フィルタ17は、固定パターンでも書き換え可能なパターンでもよい。固定パターンの場合には、ガラス基板などの基板上に蒸着などにより所定の位相や透過率のパターンを形成したものを設置すればよい。また、書き換え可能なパターンとするには、液晶や半導体からなる光変調器を空間フィルタとして使い、空間フィルタ制御装置20から出力される電圧により、光変調器上の各ピクセルの位相や透過率を制御する。

【0118】実際に、図10の構成の光回路を用い、ガラス基板上に作られた固定パターンの空間フィルタにより、単パルス幅0.2ps、周期0.5ps、パルス数100個からなる波長1500nmの光パルス列の重みの整形が可能なことを確認した。

(実施形態例2) 本発明の第2の実施形態例に係る光パルスを発生する方法とその構成について、図11を参照して説明する。

【0119】本実施形態例は、反射型の計算機ホログラム(CH)21を焦点面 S_3 に設置したものである。この計算機ホログラム21は、例えば、ある光パルス列 $u(t)$ のフーリエ変換 $U(v)$ が空間周波数パターンとして書かれている。

【0120】したがって、読み出し光を光導波路22からスラブ導波路23へ入射すれば、ホログラムから反射した光パターン $U(v)$ はスラブ導波路23、導波路アレイ24、スターカップラ25の順に伝搬し、実施形態例1で述べた原理により逆フーリエ変換されて、導波路26から光パルス列 $u(t)$ が射出される。

【0121】この実施形態例では、単なる光パルスを読み出し光として入射するだけで、計算機ホログラム21に書かれた任意の光パルス列を発生することができる。

【0122】なお、本実施形態例の変形例として、例えば、図12に示すように、導波路41、スターカップラ42を介して、読み出し光も導波路アレイ43に入射してフーリエ変換像として計算機ホログラム21に入射しても良い。ただし、読み出し光は、短い光パルスとすればよい。

【0123】また、本実施形態例の他の変形例として、例えば、図13に示すように、透過型の計算機ホログラム31を用いることもできる。すなわち、導波路アレイ32と反対側の導波路33からスラブ導波路34へ読み出し光を入射すると、ホログラムを透過した光パターン $u(v)$ は、スラブ導波路35、導波路アレイ32、スターカップラ36の順に伝搬し、上記と同様に逆フー

リエ変換されて、光導波路37から光パルス列 $u(v)$ が射出される。

【0124】実際に、図11の構成の光回路を用い、単パルス幅0.2ps、周期0.5ps、パルス数100個からなる波長1500nmの光パルス列の発生を確認した。

(実施形態例3) 本発明の第3の実施形態例に係る光パルスを一時記憶する方法と構成について、図14を参照して説明する。本実施形態例では、感光性の光記録媒体51を焦点面 S_3 に設置する。

【0125】図14に示すように、入力光信号 $u(t)$ は、外部から光コネクタ52により装置に導入され、光増幅器53で増幅される。次に、光カップラ54により信号光と参照用の光に分けられ、信号光はそのまま石英光回路55に入射する。

【0126】石英光回路55において、図15(A)に示すように、信号光は、導波路56に入射した後、スターカップラ57によって導波路アレイ58に分岐される。

【0127】それぞれの導波路アレイ58からの出した光は、スラブ導波路59を伝搬し、焦点面 S_3 において、入射光信号のフーリエ変換 $U(v)$ を空間的に結像する。

【0128】一方、信号光から分岐した参照光用の光は、光カップラ54により分けられ、光変調器60を通った後、石英光回路55に入射し、図15(A)に示すように、参照用導波路61を通り、スラブ導波路59へ入射する。

【0129】図15(A)におけるスターカップラ57の拡大図を図15(B)に示す。ここで、導波路アレイ58の入射導波路端は円周上に配置されるが、参照用導波路61からスターカップラ57への入射端を中心とする円周上、あるいは導波路56からスターカップラ57への入射端を中心とする円周上のいずれかに配置される。通常は、各々の円周上に配置される導波路数は、ほぼ等しく設定される。

【0130】その結果、参照光と信号光との干渉により光記録媒体51上に $U(v)$ がホログラムとして記録される。

【0131】その後、参照光と同一波長の光を読み出し光として導波路W2から入射すれば、ホログラムに記録された $U(v)$ が読み出され、スラブ導波路59、導波路アレイ58、スターカップラ57の順に伝搬する間に逆フーリエ変換されて導波路56から光パルス列 $u(t)$ が射出される。

【0132】なお、ここでは、光変調器60は、参照光あるいは読み出し光のための光パルスを信号光の一部から切り出す役割を果たす。

【0133】このような原理により、光パルス列の記憶がなされる。

【 0 1 3 4 】また、本実施形態例では、反射型の構成で示したが、ホログラムの反対側に読み出し用の導波路を設けて透過型のホログラムを用いた構成も可能である。さらに、図 1 2 と同様に参照光および読み出し光を導波路アレイを通して入射する構成も可能である。

【 0 1 3 5 】光記録媒体 5 1 としては、例えば、半導体の多重量子井戸構造のフォトリフラクティブ素子、感光膜などを用いることができる。

【 0 1 3 6 】また、参照光用導波路を複数設け、それぞれの参照光に対応して多数の光パルス列のパターンをホログラム上に多重に記録することも可能である。

【 0 1 3 7 】なお、焦点面にホログラム媒体のかわりに光センサアレイを置き、参照光を導入せずに信号光のみを導入すれば、信号光のパワースペクトルの観察もできる。

(実施形態例 4) 図 8 の構成を用いて、導波路アレイの本数 N を 3 4 0、回折次数 m を 5 9 とした。入射光は、 Cr/YAG レーザの出力を波長フィルタによって、帯域制限を行い、中心波長 1 5 4 9 nm、スペクトル幅 2、3 nm、パルス幅 1、1 ps のパルスを生成して用いた。

【 0 1 3 8 】以上のような構成で光信号発生を行った場合の、入射光のパルス波形を図 1 6 に示した。また、フィルタとして、焦点面にそれぞれ 1 2 0 GHz、2 4 0 GHz のパルス発生用の反射型強度フィルタを設けて処理した場合の出力波形を図 1 7 および図 1 8 に示す。図 1 7 および図 1 8 により、本発明の光信号処理装置および光信号処理方法が設計通りに機能していることが確認された。

【 0 1 3 9 】また、図 1 9 に導波路アレイを用いた場合と、従来の回折格子とレンズを用いた場合とにおいて、取り扱うパルス幅と処理可能な最大パルス数との関係を示す。

【 0 1 4 0 】本発明の第 1 の効果は、信号処理能力 (処理可能パルス列長) が原理的に高いことである。図 1 8 から明らかなように、本発明の構成は従来構成に比較して処理可能なパルス列長が長く、回折次数 (m) を変えて処理する光パルスのパルス幅に合わせた設計が可能である。数式を用いて、処理可能最大パルス列長 (T_0) および最小パルス幅 (τ) を示すと以下のようになる。

【 0 1 4 1 】

【 数 1 】

$$T_0 \cong \frac{mN}{2\nu_0}$$

【 0 1 4 2 】 (ただし、従来技術においては $m = 1$ 、 ν_0 : 中心周波数、 N : 導波路数、従来技術においては光ビームの照射されている回折格子本数)

【 0 1 4 3 】

【 数 2 】

$$\nu_0 \cong \frac{2f\nu_0}{\nu_0 H d} \alpha$$

【 0 1 4 4 】 (従来技術、 d : 回折格子の溝間隔、 λ_0 : 中心波長、 f : レンズ焦点距離、 H フィルタ寸法、 α : 定数 (通常 0、3 ~ 0、4、パルス形状による))

【 0 1 4 5 】

【 数 3 】

$$\nu \cong \frac{m}{2\nu_0} \alpha \quad (\text{本発明})$$

【 0 1 4 6 】本発明を用いて分散補償等を行う場合、処理能力は処理可能パルス列長に比例する。すなわち、発明の回路は、おおよそ従来技術に比較して 1 0 倍の能力を持つ。

【 0 1 4 7 】第 2 の効果は、装置の小型化が可能なことである。従来技術においては図 1 から明らかなように全長 4 f の大きさになるが、レンズの歪みが少ないことを条件にすると図 1 8 の性能を得るためには少なくとも $f = 1 0 \text{ cm}$ 以上、口径 1 0 cm 以上が必要であり、全長は 6 0 ~ 7 0 cm 程度、幅 / 高さが 3 0 cm 程度の大きさになる。さらに光ファイバ入出力光学系を含めると非常に大きな装置となり、光通信装置に搭載することは不可能である。ところが、本発明では光回路を平面内で屈曲させて配置できることおよび空気よりも導波路材料の方が屈折率が高いため小型化され、図 1 9 の性能を得るために 1 0 cm 角程度の石英基板で製作可能である。半導体導波路であれば、寸法は 5 cm 角程度になる。

【 0 1 4 8 】第 3 の効果は、その他の光回路との集積化が可能になることである。例えば光増幅器を内蔵し、損失の少ない光信号処理が可能となる。

【 0 1 4 9 】ピコ秒パルスの発生手段に適用した場合の効果は、共振器内の分散補償により容易にトランスフォームリミットに近いパルス列を発生することができること、各モードの制御によりパルス形状を設計できることである。

【 0 1 5 0 】分散補償回路に適用した場合の効果は、高次の分散の補償、可変分散補償、高帯域な補償が可能となる。また、2 ps のパルス幅の光パルスに対しては 1 0 0 ps / nm 程度の補償まで可能である。また、キノフォーム (フレネルレンズ) をスラブ導波路とフィルタ / ミラー間に配置して、歪みのない波形整形が可能である。

【 0 1 5 1 】伝送装置に適用した場合の効果は、伝送路の分散の変化に追従した分散補償が可能であること、自己位相変調による伝送波形劣化を低減したシステムの構成が可能であること、強度変調 - 角度変調変換回路が容易に構成できることである。

(実施形態例 5) 図 2 0 は、本発明の第 5 の実施形態例を示すものである。この実施形態例の装置では、石英基板 1 0 1 上に、光導波路 1 0 4 の出力光を分配する第 1 のスラブ導波路 1 0 5、導波路長を順次長くした複数本

の光導波路にて形成されスラブ導波路105の分配光の光路長を異ならしめて位相差を生ぜしめ分波するアレイド導波路106、円周端面を有してレンズ機能を有する第2のスラブ導波路107が集積化されて形成されている。200はアレイド導波路回折格子である。

【0152】石英基板101への光入力側には光ファイバ103を介して信号光が入力されるが、この光ファイバ103の途中には戻り反射光を取り出すための光サークュレータ102が介在されている。この場合、光ファイバカップラによっても同じ機能を有して使用可能であるが、過剰損失が最低6dBは生じる。

【0153】他方、石英基板101の光出力側には、フレネルレンズ108やキノフォームに代表される位相空間変調素子、空間フィルタ109、反射手段であるミラー110が存在する。

【0154】図21は、石英基板101に備えられる位相空間変調素子であるフレネルレンズ108や空間フィルタ109等の拡大図である。図21(A)の如く石英基板111に挟まれるようにしてフレネルレンズ(キノフォーム)108、保持基板113、空間フィルタ109、ミラー110が設けられ、フレネルレンズ(キノフォーム)108の表面および空間フィルタ109の表面に低反射フィルタ112が被着形成されている。この場合、フレネルレンズ(キノフォーム)108の側面形状は、図21(B)に示すように、等高部分が楕円形状をなすように形成され、短軸方向の曲率はこのレンズ面とスラブ導波路107の端面との光学的距離を焦点距離とするようにし、長軸方向の曲率はスラブ導波路107の焦点距離と等しくしており、動作波長域にて透明な材料をエッチングにより製作することができる。なお、上記フレネルレンズ108の構造およびその製造方法については、後の実施形態例においてさらに詳しく説明する。

【0155】フレネルレンズよりも、膜厚が厚くなるが、球面ないし非球面レンズ等を薄膜をエッチングして製作して、フレネルレンズ108の代わりに用いても良い。製作方法は、フレネルレンズと同様である。

【0156】図20、図21に示す構成に係る機能は、図1に示す従来の構成での機能と本質的に透過であり、従来技術にて問題の一つとなっている大型化に関しては、例えばパルス間隔50ps、パルス幅2psの繰返し信号(図22上段)の例をとると、例えば少なくとも15mm以上の光束径の光学系が必要であり、レンズの有効径を考慮すると50×100cm程度の大きさの装置を要することに基づく。これに対して本例では石英導波路中に最大約10mmの光路差を設けられればよいので、5×5cm程度の基板上に集積化することができ、大きさに格段の差が生ずる。

【0157】第1のスラブ導波路105、アレイド導波路106、第2のスラブ導波路107は、石英基板上に集積化されるのであるが、このうちアレイド導波路106

は、隣接する各導波路をΔLずつ導波路長を異ならしめ、導波路に屈折率をnとすると隣接する導波路はnΔLの光路差を有することになる。すなわち、アレイド導波路106は回折格子と同じ分波機能を有する。

【0158】アレイド導波路106の出力端は、半径fの円周状に形成されて第2のスラブ導波路107に接続されており、この第2のスラブ導波路107は焦点距離fのレンズとして機能する。すなわち、レンズの場合、光軸近傍にてレンズの両側の焦点面で像のフーリエ変換機能を有するが、第2のスラブ導波路107についてもアレイド導波路106の出力像の1次元フーリエ変換機能を有する。なお、第2のスラブ導波路107の焦点は、この第2のスラブ導波路107の光軸上に円周面上に位置することになるので、出力側にフレネルレンズ(キノフォーム)108を備えて焦点面が平面となるようにしている。なお、フレネルレンズ(キノフォーム)108の導波路面内の焦点距離は上述のfに等しく設定される。低反射コーティング112を介して変調をかける空間フィルタ109、反射のためのミラー110の配置は、図21(A)に示すとおりであるが、フレネルレンズ(キノフォーム)108および空間フィルタ109(位相フィルタの場合)は、動作波長にて透明な材料をエッチングして段差を形成して製作でき、また、電子ビームの直接描画により感光材料に対する露光量を調節することにより、露光量に逆比例して現像される厚さが決まるので、所望の形状を製作できる。また、感光材料をマスクとして基板をエッチングし、基板の形状を加工し、フレネルレンズ108および空間フィルタ109を製作することも可能である。また、強度フィルタの場合には光吸収膜を短冊状にエッチングし、ラインスペース比を制御することにより製作できる。なお、位相フィルタにするか強度フィルタにするかは、前者は設計上難しいという面があり、後者は損失が大きいという面があるので、目的に応じて使い分け、あるいは両者を備えるようにすればよい。

【0159】図22上段はパルス間隔50ps、パルス幅2psの繰返し信号である入射パルス波形を示す。この入射信号光は図20に示すサークュレータ102を透過し、光導波路104に入射し、第1のスラブ導波路105にてアレイド導波路106の各導波路に分配される。ついで、アレイド導波路106にて光路長差に基づき分波され、第2のスラブ導波路107にてフーリエ変換が行われ、フレネルレンズ(キノフォーム)108を介して空間フィルタ(ここでは仮に位相フィルタ)109にて位相変調を受け、ミラー110にて反射されて戻り、逆フーリエ変換され光サークュレータ102から出力光として取り出される。図22下段は出力光波形を示しパルスの繰返しが5倍となっている。

【0160】この場合、空間フィルタ109は図23中段に示す相対位相の位置依存性を有する。

【0161】処理される光パルスのパルス幅を t_1 、中心周波数を ν_0 とすると、パルス内で n 回光振幅が振動する。

【0162】 $n = \nu_0 t_1$
このとき、位相変化 d が次式を満たす場合、 $n \geq d / 2\pi$

位相変化を

$$d' \equiv \text{Mod} [d, 2\pi]$$

と近似しても良い(ただし、 $[u, v]$ は、 v を法とする剰余)。

【0163】すなわち、反射型の構成では、位相フィルタを光が2回透過するので、最大 π の位相変化でフィルタを製作可能である。

【0164】また、透過型の場合は、位相変化を $d'' \equiv \text{Mod} [d, \pi]$ と近似してもよく、最大 2π の位相変化でフィルタを製作可能である。

【0165】もちろん、膜厚が厚くなるが、必要な位相変調量が得られる位相フィルタを用いても良いことは言うまでもない。

【0166】図23上段は入射信号の周波数スペクトルを示し、図23下段は空間フィルタ109透過後の信号光の周波数スペクトルを示す。なお、図23下段は位相変調のみでありスペクトル変化はない。

【0167】このようにして時系列波形の変調を行うことができる。

【0168】数式によりこの変調を表現すれば、入射信号光を $u(t)$ フィルタの透過関数(往復)を $h(x)$ とし、 t を時間、 x をフィルタ上の構造上の位置とする。周波数スペクトル像は u のフーリエ変換 U を用いて $U(\nu(x))$ と表わされる。ここで ν はフィルタの繰り返し構造に係る周波数を示す。

【0169】フィルタ透過後のスペクトルは、 $S(\nu(x)) = U(\nu(x)) \cdot h(x)$ となる。そして出射光の波形は、逆フーリエ変換が施され $s(t) = u(t) * H(t)$ となる。ここで、 $*$ は畳み込み積分を示す。

【0170】図22に示すようにパルスの繰り返し周波数は5倍となっており、位相フィルタでは同じパターンの繰り返しで構成されるが、パターンを $g(x)$ 、繰り返し周期を $\nu_1(x_1)$ とすれば、パルスの繰り返し周期はその逆数 $1/\nu_1(x_1)$ となる。

【0171】また、一般には周期内のパルス強度は異なり、パルス強度を揃えるためには、各パターンを M 系列に従った2値の位相とすれば良く、例えば繰り返し周期内を15部分に分割して各位相を $(\pi, 0, 0, 0, \pi, 0, 0, \pi, \pi, 0, \pi, 0, \pi, \pi, \pi)$ とすればよい。

【0172】所望の波形を $s(t)$ 、そのフーリエ変換を $S(\nu(x))$ とすれば $h(x) = S(\nu(x)) / U(\nu(x))$ で表わされる透過関数を持つフィルタに

て所望の波形を得ることができる。

【0173】図24は、図20、図21の構造(実施形態例5)上の変形例を示しており、図24(A)は前述した空間フィルタ109について位相フィルタ109aと強度フィルタ109bとを双方備えた例を示しており、位相と強度とのいずれか一方の制御とは異なり両方の制御によって光信号処理範囲が広がるという効果を有する。

【0174】図24(B)は図21と機能は同じであるが、フレネルレンズ(キノフォーム)108がフィルタ上面に取付けられた例を示しており、製作は容易となる。ただし、フレネルレンズ(キノフォーム)108の焦点距離はスラブ導波路107の屈折率を n_s とすると f/n_s としなければならない。

【0175】図24(C)は、図21に示すミラー110と強度フィルタ109とを兼用したパターンミラー114を形成した例を示しており、製作が簡単となる。

【0176】図24(D)は、スラブ導波路107やフレネルレンズ(キノフォーム)108の代りに、この部分のみレンズ115を備えた例を示しており、形は若干大型化するが精度の高いフーリエ変換が可能である。

【0177】また図24(E)は、フレネルレンズ108と空間フィルタ(位相フィルタ)109との機能を兼ねる位相フィルタ116を備えた例を示しており、設計は煩雑となるが、製作は容易となる。

【0178】本実施形態例5では、石英導波路を用いることを前提に説明したが、InP、GaAs、Si等の半導体光導波路、LiNbO₃等の誘電体光導波路、ポリミド等の有機材料光導波路で同様の光回路を製作できることは言うまでもない。特に、半導体光導波路は屈折率が大きいためさらに小型化が可能で、光回路内に光増幅器を設けることも可能である。

(実施形態例6)図25(A)は図20、図21に示す空間フィルタを液晶によって製作した例を示しており、301a、301bは透明電極、302は配向膜、303はスペーサ、304はネマティック液晶、305は1/4波長板である。1/4波長板は偏波依存性のある空間フィルタを用いた場合に、偏波無依存化するために必要であり、この1/4波長板の f 軸・ s 軸は導波路面(図25(A)中のA-A'線部分)に対して45度傾けて配置される。液晶の配向は導波路面(図25(A)中のA-A'線部分)に平行あるいは垂直なホモジニアス配向する液晶と配向膜が用いられる。

【0179】図25(B)は透明電極301aの構成を示しており、短冊状の電極を有して、各電極に任意の電圧が印加できるようになっている。電圧を印加することによって液晶の配向が変化し透明電極301a、301b間にて位相差が変化し、短冊状に電極が設けられているので任意の空間位相フィルタを実現することができる。すなわち、本例においては、位相フィルタを調整す

ることで必要に応じた光信号処理を行うことが可能となる。また、液晶にツイストネマティック液晶を用いても良い。この場合 $1/4$ 波長板は不要である。印加電圧が十分に高いと偏波無依存の位相変調器として機能する。(実施形態例7) 図26は、本発明の第7の実施形態例を示しており、光路を屈曲させて一層小型化した例を示している。図26において、401は光導波路のコア、402はミラー、403は斜め(7〜8度)の端面の溝である。本例ではスラブ導波路107の焦点面がミラー110上になるように光を屈曲するための溝403とミラー402から光屈曲部が形成される。本例では、フィルタを石英基板上に配置できるのでいっそうの小型化が可能となる。溝は反応性イオンエッチング装置を用いて容易に作成可能である。

(実施形態例8) 図27は透過型の構造を示しており、ここではヒートシンク101Aに第1のアレイ導波路106を有する第1の石英基板101Aと第2のアレイ導波路505を有する第2の石英基板101Bとが配置された構造となっている。そして、この二個の石英基板101A、101B上の配置は対称な構造となっている。つまり、第1の石英基板101A上には分布のための第1のスラブ導波路105、第1のアレイ導波路106、結像のための第2のスラブ導波路107が集積され、第2の石英基板101B上にも結像のための第1のスラブ導波路504、(第2の)アレイ導波路505、合波のための第2のスラブ導波路506が集積されている。そして、石英基板101Aと101B間に空間フィルタ等が配置される。なお、502は光増幅器を示す。

【0180】第1のアレイ導波路回折格子200Aはヒートシンク501上の石英基板101A上に形成され、第2のアレイ導波路回折格子200Bは同じくヒートシンク501上の石英基板101B上に形成され、空間フィルタを中心に対称に配置されている。第1のアレイ導波路回折格子200Aは光導波路104、第1のスラブ導波路105、アレイ導波路106、第2のスラブ導波路107から構成されている。他方の第2のアレイ導波路回折格子200Bも、同様に第1のスラブ導波路504、アレイ導波路505、第2のスラブ導波路506、光導波路507とから構成されている。

【0181】図28は拡大図であり、空間フィルタは図25と同様のフィルタであるが、透過型のため少なくとも位相差(2π)が得られるようにする必要がある。また、図25のミラー110および $1/4$ 波長板305は不要なので省かれている。この構成は偏波依存性があるので、偏波無依存化する場合、フィルタを2段直交して接続すればよい。本例の透過型の構成は図20で示した構成と動作上は透過である。装置は大型化するが、図20のサーキュレータ102が不要となり損失が低減できる。図27の503はフィルタ制御装置を示す。

【0182】図29は、図27、図28に示した前記実

施形態例8の変形例を示しており、図29(A)は、固定の空間フィルタ109を用いる例、図29(B)はフレネルレンズ(キノフォーム)108をフィルタ基板上に形成した例、図29(C)はフレネルレンズ(キノフォーム)と位相フィルタとを兼用する位相フィルタ116を用いた例、図29(D)は第1のスラブ導波路107、504の代りにレンズ115を用いた例を示している。この場合、空間フィルタは透過型のため位相差が少なくとも(2π)得られるようになっている。

(実施形態例9) 図30は透過型の他の例を示すもので、加熱により位相調整を行う例を示している。すなわち、601はアレイ導波路、602は加熱電極、603は配線、604は制御装置である。図31にアレイ導波路601の拡大図を示す。ここで、605は導波路中に設けられた溝、606は接続損失を減らすための導波路テーパー構造、607は $1/2$ 波長板である。溝605、テーパー606、 $1/2$ 波長板607の構造は、導波路の偏波依存性を低減する構造で、必要に応じて他のアレイ導波路にも用いることができる。一般に材料の屈折率は温度依存性を持つので加熱することにより導波路の光路長すなわち位相を変調することができる。ここでは電極602の電流を調整することでアレイ導波路601の各導波路の位相を調整することが可能である。すなわち、アレイ導波路601の入射端がスラブ導波路107によるフーリエ変換面になるように配置されれば、アレイ導波路601、加熱電極602、溝605、テーパー606、 $1/2$ 波長板607は、可変の位相フィルタとして機能する。位相制御を容易にするためにアレイ導波路601の各導波路間の位相差は 2π の整数倍となるように製作される。本例においても図25の場合と同様に任意の位相変化と、柔軟な光信号が可能となる。

【0183】なお、図31内において仮想線にて示すように中央に空間フィルタと $1/2$ 波長板を置いて位相調整アレイ導波路端に接続されるようにも構成することができる。

(実施形態例10) 図32は、ホログラム記録についての例を示しており、701は参照光入力用導波路、702は第2の分配手段であるスラブ導波路、703は第2のアレイ導波路、704は光記録媒体である。704には半導体MQW、チタン酸バリウム等のフォトリフラクティブ結晶、サーモプラスチック等を用いることができる。ここで、信号光の光学系104〜106と参照光の光学系701〜703は同じ構成である。サーキュレータ102に信号光、光導波路701にコヒーレントな短パルス参照光を入射すると、信号光と参照光はフーリエ変換されて媒体704上で干渉し、ホログラム記録される。記録後、再びコヒーレントな短パルス参照光を入射すると、サーキュレータ102より信号光の位相共役光出力される。すなわち、本例は超高速の光信号を記録し位相共役光を発生する機能を持つ。

(実施形態例11) 図33は、ホログラム記録の他の例であり、透過型を示している。ここで、801は第2の結像手段であるスラブ導波路、802はアレイ導波路、803は合波手段であるスラブ導波路、804は光導波路である。図32の例と同様に第1の導波路104に信号光、導波路701に参照光を入射すると、導波路704上に光信号がホログラム記録される。記録後、再びコヒーレントな短パルス参照光を入射すると導波路804より、信号光が再生される。参照光の代わりに別の信号光を入射すれば二つの信号光間の相関信号を出力することが可能である。

(実施形態例12) 図34は、超高速光信号の波形観測例を示すもので、901は単色光のCW光源、902は光導波路、903はスラブ導波路、904は光受光器アレイである。導波路104は信号光、導波路701に参照光を入射すると、媒体704上のホログラムにより回折される。回折光がアレイ904上に結像すると、時間波形が空間光強度分布として形成される。アレイ904で電気信号に変換し、パラレルシリアル変換回路905にて時系列信号に変換することで超高速の光信号の波形を観測することができる。また、光フィルタ906は必要に応じてCW光源901の波長を信号光および制御光と異なる波長に設定し、信号光および参照光のアレイ904への入射をささぎようになっている。

【0184】なお、今までの各図の説明において、同一符号は同一部分を示している。

【0185】また、結像手段としてのスラブ導波路107、504等は、フレネルレンズ(キノフォーム)108と組合せて、焦点面を平面としたのであるが、また周波数空間での光信号処理は焦点面で行わないと一般に大きな歪みが生ずるのであるが、焦点面の湾曲の程度によっては、フレネルレンズ等を除くことも可能となる。すなわち、結像手段をスラブ導波路のみにて形成することができる。

【0186】また、上記各図の説明にあって前述の如く空間位相フィルタまたは強度フィルタとし、もしくは双方を備えたものでもよい。

【0187】また、図20の例ではフレネルレンズ(キノフォーム)の焦点距離を結合手段のスラブ導波路の焦点距離と等しいことを述べたが、必ずしも等しくする必要もなく分散を生ずるか分散補償をするかの違いにより決定できる。

【0188】さらに、図26(B)に示す垂直方向屈曲手段を、例えば図32にても適用できるが、この場合には図26(B)に示す空間フィルタ109やミラー110は光記録媒体に置き換えることになる。

【0189】以上の例示にても明らかな如く、前記各実施形態例の各図の例示は必要に応じて相互に適用することが可能である。

(実施形態例13) 図35に本発明の実施形態例13を

示す。この実施形態例12は、前記実施形態例4の装置と基本構造は類似しているが、光源側に光増幅器120、光フィルタ121、光増幅器122が設けられていることが異なる。

【0190】フレネルレンズ近傍の詳しい構成図を図36に示す。ここで、図36中、符号111は石英基板、112は低反射コーティング膜、113は保持基板である。

【0191】上記フレネルレンズ108は、動作波長域で透明な材料をエッチングして製作することができる。フレネルレンズ108の等高図は楕円形状をしている。フレネルレンズ108の短軸方向の曲率はレンズ面とスラブ導波路107の端面の光学的距離の焦点距離を持つようにする。また、フレネルレンズ108の長軸方向の曲率はスラブ導波路107の焦点距離と等しくなるようにする。

【0192】光ファイバ103に入射された信号光は、光増幅器120で増幅され、光フィルタ121で不要なASE光を除去された後、サーキュレータ102を透過し、光導波路104に入力する。次に、第1のスラブ導波路105で信号光はアレイ導波路106の各導波路に分配される。アレイ導波路106の隣接する各導波路は ΔL ずつ導波路長が異なる。このため、導波路の屈折率を n とすると、隣接する導波路は $n\Delta L$ の位相差を持つ。すなわち、アレイ導波路106は回折格子と同じ分波機能を持つ。

【0193】このため、第1のスラブ導波路105、アレイ導波路106および第2のスラブ導波路107で構成されるアレイ導波路回折格子200は、波長多重伝送装置における合分波器として従来より用いられている。

【0194】アレイ導波路106の出射端は、第2のスラブ導波路107に接続されているが、半径 f の円周上に配置されている。すなわち、第2のスラブ導波路107は焦点距離 f のレンズとして機能する。

【0195】上記第2のスラブ導波路107の焦点面は、該第2のスラブ導波路107の光軸上でアレイ導波路106の出射端を中心とする円周上に位置することになる。

【0196】本発明における周波数空間での光信号処理は、焦点面で行わないと、一般に大きな歪みが生じる。このため、フレネルレンズ108が上記スラブ導波路107の出射側に配置される。該フレネルレンズ108により焦点面が平面に変換される。フレネルレンズ108の導波路面内の焦点距離は f に等しく設定される。

【0197】入射光は空間フィルタ109を透過し、ミラー110で反射し、再び空間フィルタ109を透過する。

【0198】図37および図38に空間フィルタ109およびフレネルレンズ108の詳細図を示す。ここで、空間フィルタ109およびフレネルレンズ108は同様

のプロセスで作製が可能である。空間フィルタ109の厚みは、信号の中心波長 λ_0 、 n_L は空間フィルタ109の材質の屈折率とすると、反射型では往復で最大 2π の位相差が必要であるから、 $\lambda_0 / (2n_L)$ に等しい。

【0199】また、フレネルレンズはレンズ中から空気中に光が射出するので、レンズのあつみは内方向(x)では第2のスラブ導波路107の焦点面を平面に変換するため、第2のスラブ導波路107に等しい焦点距離を持つように設計される。

【0200】また、導波路基板に垂直な方向(y)の曲率は、レンズからの出射光を平行光に変換するため、石英基板111内での焦点距離が該石英基板111の厚さ $R = (n_L - 1)f$

空間フィルタ109およびフレネルレンズ108は、例えばPMGI (PolyMethiGlutarImide)を電子ビーム露光機で露光して、現像することで製作することができる。

【0205】図39にはPMGIの現像深さの露光依存性のグラフを示す。

【0206】また、PMGIをマスクにして、石英基板111をエッチングして製作することも可能である。これを図40に示す。

【0207】形状が反転するので、必要に応じて反転した露光パターンが必要である。

【0208】また、石英基板111を元にしてレプリカを作製しても良いことはいうまでもない。

【0209】数式で表現するために、入射信号光をu
 $U(\omega(x)) \cdot h(x)$

反射光は再びアレイ導波路106を透過し、逆フーリエ変換される。

【0213】さて、群速度分散のある媒質中を光が透過すると、周波数空間での入出力関係は下記(4)および

$$U_{in}(\omega) = U_{in}(\omega) \cdot \text{Exp}(i\phi(\omega)) \quad (4)$$

$$\phi(\omega) \cong \phi_0 + \phi_1(\omega - \omega_0) + \frac{\phi_2(\omega - \omega_0)^2}{2} + \dots \quad (5)$$

【0215】ここで、 ω は角周波数で ω_0 は中心角周波数であり、位相項の第1項は絶対位相、第2項は時間軸上での位置、第3項が群速度分散を示す。第4項以降は高次の分散効果を示す。主として第3項の効果によってパルス広がりが生じる。

【0216】ところが、下記(6)式で示される位相フィルタを用意して、本実施の形態の光回路でフーリエ変換後に位相フィルタを透過させれば、上記(3)式より、第3項をキャンセルすることができるので、群速度分散による波形劣化を等化することができる。

【0217】

【数6】

に等しくなるように設定される。x方向およびy方向の曲率を R_x および R_y とするとフレネルレンズ108の楕円環は次の式(1)で示される。

【0201】なお、 $m = 1, 2, \dots$ (整数) 曲面の不連続に対応する。

【0202】

【数4】

$$\frac{R_x}{R_y} x_m^2 + y_m^2 = 2m \frac{\lambda_0}{n_L} R_y \quad (1)$$

【0203】また、曲率Rと焦点距離fとは次の式

(2)で変換される。

【0204】

(2)

(t)、空間フィルタ109の透過関数(往復)をh(x)と仮定する。

【0210】ここで、tは時間、xは空間フィルタ109上での位置である。

【0211】信号光u(t)は、上記アレイ導波路106によって分光され、空間フィルタ109上の異なった位置xに焦点を結ぶ。この分光された周波数スペクトル像はuのフーリエ変換Uを用いて $U(\omega(x))$ と表される。信号の中心周波数が $x=0$ に対応とする空間フィルタ109の透過後のスペクトルは、下記(3)式のように示される。

【0212】

(3)

(5)式で示される。

【0214】

【数5】

$$h(\omega(x)) = \text{Exp}(-i \frac{\phi_2 \{\omega(x)\}^2}{2}) \quad (6)$$

【0218】位相フィルタは図40に示したように、動作波長帯域で透明な材料をエッチングして製作することが可能である。位相差の大きいフィルタの製作は困難であるので、反射型の構成では π の位相差で折り返してフィルタを製作すると良い。反射型の場合は、光がフィルタを2回透過するので、分散補償フィルタの特性式は、次式となる。

【0219】

【数7】

$$h(\omega(x)) = \text{Exp} \left(-i \frac{\phi \cdot \{\omega(x)\}^2}{4} \right) \quad (6')$$

【0220】(6)および(6')式は、100fs以上のパルス幅の光に対して、この近似は有効である。もちろん、位相差に等しい厚さのフィルタを製作しても良いことは言うまでもない。

【0221】図41および図42に実施形態例12のフィルタ特性の例を示す。ここでは、群速度分散のある媒質でのフーリエ位相の変化を補償する分散補償用フィルタの特性がフーリエ変換面において ax^2 であると仮定した。

【0222】図41および図42は分散の正負に対応している。

【0223】この結果、相対位相 ϕ が空間フィルタ上の位置(x)に対して、 $\phi(x) = \text{Mod}[ax^2, \pi]$ (a:定数)を近似した特性を持つ光回路を作製することができる(Mod[u, v]はuのvに対する剰余を示す)。

【0224】本実施形態例13では固定の分散値の補償しかできないが、上記式(5)の高次の項まで補償するフィルタを用意すれば、上記式(3)〜式(6')より、高次の分散を補償できることが可能となる。

(実施形態例14)本発明の第14の実施形態例を前出の図25(A)、図25(B)と、図35を参照して説明する。本実施形態例装置の位相フィルタは図25(A)、図25(B)に示したものであり、その他の部分は図35に示す第1の実施形態例と同じ構成であるので、その説明は省略する。

【0225】上記1/4波長305は偏波依存性のある空間フィルタを用いた場合に、偏波無依存化するために必要である。液晶の配向は導波路面に平行あるいは垂直なホモジニアス配向する液晶と配向膜が用いられる。1/4波長板305のf軸・s軸は導波路面(図25(A)のA-A'線部分)に対して45度傾けて配置される。

【0226】図25(B)に示すように、透明電極301-aは短冊状の電極になっており、各電極に任意の電圧が印加できるようになっている。電圧を印加すると液晶の配向が変化し、透明電極301-aと301-b間の位相差が変化する。短冊状に電極が設けられているので、任意の空間位相フィルタを実現することができる。すなわち、本実施形態例においては、位相フィルタを調整することで、分散補償の中心波長を変えたり、分散補償量を変えたり、必要に応じた分散補償を行うことが可能となる。

(実施形態例15)本発明の実施形態例15を図43

と、前出の図28とを参照して説明する。

【0227】ここで、図43中、符号200Aは第1のアレイ導波路回折格子、200Bは第2のアレイ導波路

回折格子、501はヒートシンク、503はフィルタ制御装置、504は第2の結像手段であるスラブ導波路、505は第2のアレイ導波路、506は合波手段であるスラブ導波路、507は第2の光導波路である。

【0228】前記光導波路104、第1のスラブ導波路105、アレイ導波路106および第2のスラブ導波路107と、第1のスラブ導波路404、アレイ導波路505および第2のスラブ導波路506、光導波路507とは、対称の構造である。

【0229】本実施形態例の空間フィルタ(図28)は第14の実施形態例と同様のフィルタであるが、透過型のため倍の位相差(2π)が得られるようにする必要がある。また、ミラーおよび1/4波長板は不要なので省かれている。この構成は偏波依存性があるので、偏波無依存化する場合は、位相差(π)が得られるフィルタを2段直交して接続すればよい。本実施形態例の透過型の構成は第13および第14の実施形態例で示した反射型構成と動作上は等価である。

(実施形態例16)図44に本発明の実施形態例16を示す。

【0230】ここで、図44中、符号1001は光源、1002は光変調器、1003は光変調信号発生回路、1004は第12から第14の実施形態例に示したいずれかの光信号処理装置、1005は光伝送路で光ファイバ、光フィルタ、光増幅器等で構成され、1006は第12から第14の実施形態例に示したいずれかの光信号処理装置、1007は光受信器である。

【0231】伝送路中で、信号劣化の大きな要因である自己位相変調は、光パルスピーク強度にほぼ比例して生じる。平均パワーを維持したままパルス幅を広げてピークパワーを下げて自己位相変調を低減することができる。

【0232】本実施形態例では、光信号処理装置1004において位相変調を施し、波形をスクランブルして光強度を平坦化し、光信号のピーク強度を低減する。

【0233】図45に変調器出力光強度の時間波形と、光信号処理装置1004透過後の出力波形の例を示す。

【0234】伝送路の分散は主として上記式(3)の第3項の群速度分散で、周波数に対して2次の項である。

【0235】光信号処理装置1004の位相フィルタによるスクランブルを2次の項主体で行うと、伝送路途中で伝送路の分散特性と補償しあって波形が再生し、自己位相変調が大きく生じて波形が補償不可能に劣化する可能性がある。このため、位相フィルタの特性は、2次の項ならば伝送路の分散と同じ符号の分散が生じるようにする。あるいは、3次以上の項を用いるか、あるいは全くランダムな位相変化を持つフィルタを用いる。

【0236】実施形態例13の光信号処理装置を用いた場合について、位相フィルタの例を図46(3次以上の項を用いる)および図47(全くランダムな位相変化)

に示す。受信側の光信号処理装置1006の位相フィルタは、伝送路で分散と光信号処理装置1004で予め与えられた位相スクランブルを補償するように設計される。数式で表現するために、光変調器1002から出力される信号光を $u(t)$ 、光信号処理装置1004の位相フィルタの特性を(反射型の場合は往復)を h_1

$$s(t) = u(t) * H_1(t) * J(t) \quad (7)$$

元の波形を再生するためには、光信号処理装置506の位相フィルタの特性を次の式(8)のように定めればよい。

【0238】

【数8】

$$h_1(\omega(x)) = \frac{h(\omega(x))' \cdot j(\omega(x))'}{|h(\omega(x))|^2 |j(\omega(x))|^2} \quad (8)$$

【0239】また、光スペクトル強度の送信側での変調が受信側での光 S/N を改善できる場合がある。すなわち、 S/N は周波数に対して様ではないので、光信号処理装置504は強度フィルタを用いて S/N が低い周波数の信号を強調して送信し、受信側で伝送路の分散を補償する位相フィルタと、送信側と逆の特性の強度フィルタを用いると S/N が周波数に対して等化されて受信感度を高めることができる。

【0240】また、受信側の光信号処理装置1006の強度フィルタに中心周波数近傍のみを低減するフィルタを用いて、時間波形の低周波数成分を減衰させて、非線形効果などで生じる符号間干渉を低減して受信感度を高めることができる。このような強度フィルタの特性を図48に示す。

(実施形態例17) 本発明の実施形態例17の位相フィルタの特性図を反射型構成について図49(A)、図49(B)に示す。フィルタ以外の回路の構成は実施形態例13~16と同様である。入射信号光が強度変調された信号光であるとする。強度変調信号の周波数スペクトル振幅を図50(A)に示す。キャリア周波数の上下に側波帯が生じる。これに対して角度変調された信号光のスペクトル振幅は図50(B)に示す形状になり、上下の側波帯の位相が反転しているところが強度変調の周波数スペクトル振幅との相違点である。

【0241】すなわち、図50(A)、図50(B)に示したように、位相フィルタの特性を反射型の場合、 $\phi(x) = \pi/2$ ($x > 0$) かつ $\phi(x) = 0$ ($x < 0$)、あるいは
 $\phi(x) = 0$ ($x > 0$) かつ $\phi(x) = \pi/2$ ($x < 0$)
とすれば、強度変調から角度変調への変調形式の変換が行われる。逆変換は位相反転したフィルタを用いれば良いことは言うまでもない。また、透過型のフィルタでは、位相変化量が2倍になるので、
 $\phi(x) = \pi$ ($x > 0$) かつ $\phi(x) = 0$ ($x < 0$)、

$\phi(x) = 0$ ($x > 0$) かつ $\phi(x) = \pi$ ($x < 0$)
とすればよい。角度変調光は、光平均強度がほぼ一定であるので、非線形効果が生じにくく伝送距離を長くすることが可能である。

【0237】

あるいは

$\phi(x) = 0$ ($x > 0$) かつ $\phi(x) = \pi$ ($x < 0$)
とすればよい。角度変調光は、光平均強度がほぼ一定であるので、非線形効果が生じにくく伝送距離を長くすることが可能である。

【0242】また、実施形態例16と同様に、強度フィルタも用いて S/N が低い周波数の信号を強調して送信し、受信側で送信側と逆の特性の強度フィルタを用いて受信感度を高めることが可能である。

(実施形態例18) 本発明の実施形態例18を示す。ここで、図51中、符号1011は短パルス光源、1012は光増幅器、1013は光波長フィルタ、1014は光分岐素子、1015はn台の光変調回路、1016はn台の光サーキュレータ、1017はn本の入力用導波路、1018は光合分岐素子、1019は光増幅器、1020は光伝送路、1021は光増幅器、1022は光波長フィルタ、1023は光分岐素子、1024はn台の光サーキュレータ、1025はn台の光受信回路である。

【0243】前述した実施形態例17とは、主として光信号の多重化を行っている点が異なる。

【0244】短パルスを用いた光通信の場合、多くはパルス幅で光の帯域幅が決定する。

【0245】最小パルス間隔がパルス幅程度まで狭めることができれば、帯域を有効利用できる。

【0246】しかしながら、変調回路の動作速度は高々50 Gbit/sであるので、パルス幅1 psの場合の帯域(ガウス波形で約400 GHz)を有効に利用することができない。このため、本実施形態例では、変調回路の動作速度範囲内にするため、パルスをn個の変調回路に分岐して変調する。

【0247】本実施形態例では、各々の変調信号に周波数領域で異なる位相変調を加えた上で合波・多重するようにしている。

【0248】この場合、各々の変調信号に対する位相変調が互いに相関が少なくなるように行う。

【0249】このような位相変調には、例えば異なるPN(Pseudorandom Noise)系列やM(Maximum Length code)系列を用いればよい。

【0250】空間フィルタの位相は系列の[1, 0]に従って、反射型の構成では、相対位相が[0, $\pi/2$]で変化させて構成する。

【0251】図52にフィルタ平面上での平均光強度分

布の包絡線を示す。

【0252】各変調信号の中心周波数は同じであるが、フィルタ平面上では入力導波路の位置が異なることを反映して異なる位置に結像する。

【0253】 $k-1$, k , $k+1$ 番目のチャンネルに対応する光強度分布は、入力光導波路のスラブ導波路105への接続部での間隔 d_{in} に等しい間隔で分離される。

【0254】このため、各々の変調信号に異なる位相変調を周波数領域で行うことが可能となる。位相変調された光は光サーキュレータ1016で光号は素子1018に導波され、多重される。

【0255】受信側では、光信号は n 本に分岐されるが、各々の分岐信号に対して送信側の光信号処理装置と位相共役の空間フィルタを用いて周波数領域で復調を行う。

【0256】各磯変調の相関が少なければ、その他の信号波形は再生されず、平均的な背景雑音が存在するだけである。

【0257】パルスの有無を背景雑音から識別するために、受信回路はパルスに十分に応答する高速性を持たなければならない。超高速の識別には、光非線形素子、非線形受光素子を用いるか、高速の光電変換素子とフリップフロップ回路が用いられる。

【0258】図53には、変調信号、位相変調後、再生後の復調信号の波形を図示する。すなわち、本実施形態例は、光周波数領域でのスペクトラム拡散伝送装置として機能する。多重数が多くなるに従って、位相変調の相関を全ての組合せに対して減らすことが困難になるので、背景雑音が増大し、多重が困難となるが、パルス幅に相当する帯域を50%程度の効率で利用することが可能である。

【0259】例えば1psのパルスを用いて、チャンネル変調速度50Gb/sで4チャンネル、総計200Gb/s程度の伝送装置を構成することが可能となる。

(実施形態例19) 本発明の実施形態例19を示す。ここで、図54中、符号1031は短パルス光源、1032は光増幅器、1033は光波長フィルタ、1034は光分岐素子、1035は n 台の光変調回路、1036、1037、109は図43に示したのと同様な透過型光信号処理装置であり、入出力導波路を n 本に増やした装置、1038は光号は素子、1039は光増幅器、1040は光伝送路、1041は光増幅器、1042は光波長フィルタ、1043は光分岐素子、1044、1045、109は前述と同様図43に示したのと同様な透過型光信号処理装置であり、1046は n 台の光受信回路である。

【0260】本実施形態例では、前述した実施形態例18を透過型の位相変調回路で構成したもので、その動作

は実施形態例18と同様である。

【0261】ただし、透過型のため、空間フィルタは相対位相が $[0, \pi]$ で変化させて構成する。

(実施形態例20) 図55は本発明の実施形態例20を示すもので、この実施形態例20の装置は短パルス光源である。

【0262】図において、本発明の短パルス光源は、光変調器2011、光変調器2011を駆動する駆動回路2012、光増幅媒質2013、光増幅媒質1013に反転分布を形成する励起回路2014、図5に示したアレイ導波路回折格子62から入力導波路71を省いたアレイ導波路回折格子2015、光変調器(光変調手段)2011と光増幅媒質(光増幅手段)2013を結合する光結合手段2016、光増幅媒質1013とアレイ導波路回折格子2015を2013を結合する光結合手段2017を有する。光変調器2011の光結合手段2016側には低反射コーティング2018が施され、その反対側(外側)には高反射ミラー2019が配置される。アレイ導波路回折格子2015の光結合手段2017側には低反射コーティング2020が施され、その反対側(外側)には高反射ミラー2021が配置される。

【0263】なお、光変調器2011には、MQW変調器、LN変調器、その他を用いることができる。光増幅媒質2013には、進行波型半導体光増幅器、希土類添加光ファイバ増幅器、その他を用いることができる。励起回路1014は、光増幅媒質1013が進行波型半導体光増幅器の場合は電流源、希土類添加光ファイバ増幅器の場合は励起光源となる。また、アレイ導波路回折格子2015の基板70には、石英基板の他に、InPやGaAs等の半導体基板を用いることができる。

【0264】アレイ導波路回折格子2015は、基板70上にスラブ導波路72、導波路長差 ΔL で順次長くなる複数本の導波路からなるアレイ導波路73、スラブ導波路74、複数本の出力導波路75が形成された構成である。

【0265】ここで、スラブ導波路72、74の屈折率を n_s 、アレイ導波路73の屈折率を n_c 、アレイ導波路73のスラブ導波路端面における間隔を d 、スラブ導波路74の中心軸を基準にした結像方向を θ 、焦点距離を f_θ 、光の波長を λ とすると、結像位置は、 $n_s d \sin \theta + n_c \Delta L = m \lambda$ ($m=1, 2, \dots$)

で与えられる。 m の値は、通常数十から数百である。スラブ導波路72に入射する光の周波数とスラブ導波路74の焦点面における結像位置 x の関係は、図56に示すようになる。なお、アレイ導波路73の線分散($dx/df = f_\theta \cdot d\theta/df$)は、 $1 [\mu m/GHz]$ である。

【0266】スラブ導波路72に入射した光は、スラブ導波路74の端面に Δx の間隔で接続された出力導波路

75を介して高反射ミラー2021で反射され、再びスラブ導波路72から逆方向に射出される。このようなアレイ導波路回折格子2015の反射スペクトルは、出力導波路75の間隔 Δx とコア幅に応じたものとなる。例えば、 $\Delta x=50\mu\text{m}$ 、コア幅を $10\mu\text{m}$ としたときの反射スペクトルを図57に示す。出力導波路75の配置に応じて、50GHzごとに反射ピークをもつくし形の反射スペクトルが得られる。

【0267】本実施形態例の構成では、高反射ミラー2019と高反射ミラー2021との間に光共振器が形成され、光増幅媒質2013での利得が十分に大きい場合に多数の波長の光を同時に発振させることができる。さらに、駆動回路2012により周波数 f の制限波で光変調器2011を駆動して十分に深い変調をかけると、発振縦モード間に結合が生じてモードロック発振する。なお、駆動する周波数 f は、高反射ミラー2019と高反射ミラー2021の等価光距離を L_{eff} 、 k を整数として、

$f=k\cdot c/(2\cdot L_{eff})=\Delta x/(dx/df)$ と表される。このとき、各縦モードの位相関係が一定に保たれ、繰り返し周波数 f の光短パルス列が生成される。発振波長スペクトルを図58に示し、発振パルス波形を図59に示す。

【0268】従来のモードロック型レーザでは、各モードの周波数を設定することが困難であった。しかし、本実施形態例の構成では、各モードの周波数がアレイ導波路回折格子2015の出力導波路75の間隔 Δx によって決められるので、各モードの周波数を詳細に設定することができる。さらに、アレイ導波路回折格子2015が石英基板上に形成される場合には、温度変動に対しても安定な周波数での発振が可能である。

【0269】また、従来のモードロック型レーザでは、パルス幅を設定することが困難であった。しかし、本実施形態例の構成では、アレイ導波路回折格子15の出力導波路75の本数および高反射ミラー2021の反射率を制御することにより、すなわち発振スペクトル幅を設定することにより、パルス幅をあらかじめ設定することができる。例えば、図60に示すようなガウス型の包絡線スペクトルを実現することができる。このとき、時間軸上でのパルス波形もガウス型となる。

(実施形態例21) 図61は、本発明の実施形態例21を示すもので、この実施形態例装置は短パルス光源である。

【0270】基本的な構成は、図55に示す実施形態例20と同じである。ここでは、アレイ導波路回折格子2015のスラブ導波路74および出力導波路75部分の拡大図を示す。

【0271】本実施形態例の特徴は、出力導波路75の各導波路の長さを変え、光共振器内の分散を補償できるように設定したところにある。

【0272】一般に、半導体材料は大きな分散をもっており、本発明の光共振器内の分散のほとんどは、光変調器2011および光増幅媒質2013における半導体の材料分散であると考えられる。この分散の大きさは、 0.005ps/nm 程度である。 $1\mu\text{m/GHz}$ の線分散をもつアレイ導波路73に対して、 $50\mu\text{m}$ 間隔に出力導波路75を配置する場合には、隣接する導波路長の差を $0.4\mu\text{m}$ とすれば、光共振器内の分散を補償することが可能である。ただし、各導波路長は各モードに対する共振器中の位相差が $m\pi$ ($m=0, 1, 2, \dots$)となるように微調整される。

【0273】このため、隣接する導波路長の差を以下のようにしてもよい。

【0274】

【数9】

$$0.4\mu\text{m} \pm \frac{m\lambda_K}{2n_{eff}}$$

【0275】ここで、 λ_K はK番目のモードの波長、 n_{eff} は出力導波路の実効屈折率である。これにより、トランスフォームリミットに近いパルスを生成することができる。また、フリースペクトルレンジの大きいアレイ導波路回折格子2015を用いれば、サブピコ秒の極超短パルス列を生成することができる。

(実施形態例22) 図62(A)は、本発明の実施形態例22を示すもので、本実施形態例装置は短パルス光源である。

【0276】本実施形態例の基本的な構成は、図55に示す実施形態例20と同じである。ここでは、実施形態例20におけるアレイ導波路回折格子2015の出力導波路75部分の拡大図を示す。

【0277】本実施形態例の特徴は、出力導波路75の端面の高反射ミラー2021に代えて、レンズアレイと片面に高反射ミラーを有する液晶空間変調器を配置するところにある。レンズアレイは、 Δx の間隔で配置される分布屈折率型レンズ2022により構成される。液晶空間変調器は、偏光板2023、ガラス基板2024-1、 Δx の間隔で配置される透明電極2025および配向膜2026に挟まれたツイストネマティック液晶2027、高反射ミラー2028、ガラス基板2024-2を積層した構成である。出力導波路75の端面、分布屈折率型レンズ2022および偏光板2023の両面には、低反射コーティング2029が施される。

【0278】液晶空間変調器は、対向する透明電極2025間に電圧を印加することにより、高反射ミラー2028から出力導波路75への反射率を制御することができる。これにより、ダイナミックにモードの制御が可能であり、必要に応じてパルス波形を代えることができる。

【0279】なお、この場合の空間変調器は上記液晶空間変調器に限らず、MQW変調器、フランツケルディッ

シュ効果による変調器、LN変調器、光非線形材料による変調器など、他の変調器を利用することができる。

【0280】また、共振器内分散補償を行うには、前述した分散補償用の位相フィルタを用いても良いことは言うまでもない。この場合の断面構成を図62(B)に示す。図中、符号74はスラブ導波路であり、2024は保持基板、2028は高反射ミラー、3000は分散補償位相フィルタである。

(実施形態例23) 図63は、本発明の実施形態例23を示すものである(短パルス光源)。

【0281】本実施形態例の基本的な構成は、図55に示す実施形態例20と同じである。ここでは、アレイ導波路回折格子2015のスラブ導波路74および出力導波路75部分の拡大図を示す。

【0282】本実施形態例の特徴は、高反射ミラー2021を用いる代わりに、出力導波路75の中に回折格子2030を形成するところにある。この回折格子2030は、非常に狭帯域の高反射ミラーとして機能させることができ、また分光特性をもつので、非常に詳細にモード波長を設定することができる。さらに、回折格子2030をそれぞれ適当な位置に配置することにより、前記実施形態例21と同様に光共振器内の分散補償が可能となり、トランスフォームリミットに近いパルスを生成することができる。

(実施形態例24) 図64は、本発明の実施形態例24を示すものである(短パルス光源)。

【0283】本実施形態例の基本的な構成は、図55に示す実施形態例20と同じである。ここでは、アレイ導波路回折格子2015のスラブ導波路74および出力導波路75部分の拡大図を示す。

【0284】本実施形態例の特徴は、実施形態例23のように回折格子2030が形成された出力導波路75の2本または3本以上の導波路を光合波器2031に接続するところにある。光合波器2031によって出力導波路75の所定の導波路からの光を結合することにより、モードロック発振している場合の所定のモードを結合し、各種のパルス波形を生成することができる。例えば、奇数または偶数番号のモードのみを結合して出力すれば、モードロック周波数の2倍繰返し周波数の光短パルス列を生成することができる。

(実施形態例25) 図65は、本発明の実施形態例25を示すものである(短パルス光源)。

【0285】図において、アレイ導波路回折格子2032は、実施形態例20におけるアレイ導波路回折格子2015から出力導波路75を省き、スラブ導波路74の焦点面に Δx の間隔で複数個の高反射ミラー2021を配置した構成である。その他の構成は実施形態例20と同様である。

【0286】図66は、アレイ導波路回折格子2032のスラブ導波路74部分の拡大図を示す。

【0287】図において、アレイ導波路回折格子2032の基板70の端面は、スラブ導波路74の焦点面に沿って切断され、その端面上に Δx の間隔で複数個の高反射ミラー2021が配置される。また、高反射ミラー2021以外の部分からの端面反射を低減するために、基板70の端面には全面に低反射コーティングが施されている。

(実施形態例26) 図67は、本発明の実施形態例26を示すものである(短パルス光源)。

【0288】本実施形態例26の基本的な構成は、図65に示す実施形態例25と同じである。ここでは、アレイ導波路回折格子2032のスラブ導波路74部分の拡大図を示す。

【0289】本実施形態例の特徴は、高反射ミラー2021を用いる代わりに、スラブ導波路74の焦点面上に回折格子2033を形成するところにある。

【0290】この回折格子2033は、光ファイバ中に形成する回折格子と同様に紫外線を用いて書き込むことができる。石英基板では、回折格子の結合定数が小さくかつ損失が小さいので、回折格子2033を非常に狭帯域の高反射ミラーとして機能させることができる。さらに、アレイ導波路回折格子2032の分光機能を加えて、スラブ導波路74中の回折格子2033による高反射ミラーが分光特性をもつので、非常に詳細にモード波長を設定することができる。また、回折格子2033の各位置をそれぞれ焦点面の法線上に変位させて形成することにより、実施形態例21と同様に光共振器内の分散補償が可能となり、トランスフォームリミットに近いパルスを生成することができる。

(実施形態例27) 図68は、本発明の実施形態例27を示すものである(短パルス光源)。

【0291】基本的な構成は、図67に示す実施形態例26と同じである。ここでは、アレイ導波路回折格子2032のスラブ導波路74部分の拡大図を示す。図68(A)は平面図であり、図68(B)は図68(A)のA-A'線に沿う断面図である。符号76は導波路コアである。

【0292】本実施形態例の特徴は、高反射ミラー2021を用いる代わりに、スラブ導波路74の焦点面上に沿って基板70に対して垂直な溝2034を形成し、その溝中に複数のミラー2035が形成されたポリイミドフィルム2036を挿入したところにある。

【0293】このポリイミドフィルム2036は、導波路端面からの不要な反射光を除くために、動作波長で透明で導波路の等価屈折率との屈折率差が小さい接着剤2037で固定される。また、ポリイミドフィルム2036のミラー2035のない部分からの反射光を除くために、その表面には低反射コーティング2038が施される。また、裏面からの反射を避けるために、裏面側には光吸収フィルム2039が積層される。なお、本実施形

態例では、ポリイミドフィルム以外にも各種フィルムを用いることができる。なお、上記実施形態例21～27におけるアレイド導波路回折格子は、短パルス光源において設定したが、これら実施形態例におけるアレイド導波路回折格子は、波形整形、分散補償などの別の応用にも適用可能である。

(実施形態例28) 図69は、本発明の実施形態例28を示すものである(短パルス光源)。

【0294】本実施形態例では、光変調器2011と光増幅媒質2013を集積化した構成を示す。n-InP基板2040に、光変調用MQW層2041、i-InPエッチストップ層2042、レーザ用MQW層2043、n-InP層2044、n-InGaAsP層2045、AuZnNi電極2046を積層し、n-InP層2040の裏面にAuGeNi電極2047を取り付ける。光変調器2011側の端面には高反射ミラー2048(2019)、光増幅媒質2013側の端面には低反射コーティング2049が施される。このような集積化により、短パルス光源の部品点数が減少し、光結合手段がアレイド導波路回折格子2015、2032との間の1ヶ所ですむので、経済的で信頼性の高い短パルス光源を実現することができる。

(実施形態例29) 図70において、2101は、出力面に低反射構造が設けられ、反対の端面に高反射構造が設けられたファイバ出力型光変調器であり、2102は変調器駆動回路、2103はファイバ出力型光増幅媒質、2104は増幅媒質励起回路、2105は4端子型光サークキュレクタ、2106は無反射終端器、2107は光カップラ、2108は偏波保持型光ファイバ、2109はアレイド導波路回折格子、2110は光導波路、2111は第1のスラブ導波路、2112は導波路アレイド、2113は第2のスラブ導波路、2114はレンズ、2115は高反射ミラー、2116は微動台である。

【0295】図70の高反射ミラー2115の拡大図を図71に示す。図71(A)は平面構成図、図71(B)は端面図である。ここで、2117は石英基板、2118は点反射コーティング、2119はAu/Cr等の高反射ミラーである。各ミラー2119の幅は一定であり、図71(A)のy方向に隣接ミラー間隔が変化するように構成されている。

【0296】図72に、高反射ミラー2115近傍の配置図を示す。図中、2120はレンズ基板、2114はレンズで、2109の結像面を円筒面から平面に変換する作用を有する。ミラー2115のある面が結像面に一致するように配置される。この図で紙面に垂直な向きがy方向、また、y軸の回りの回転角を θ とする。ミラー2115に連結された微動台2116により、x、y方向および θ 方向に微動することができる。この実施形態例では、ミラー2115をx方向に移動することによ

り、モードロック発振時の中心周波数と各モードの発振周波数を制御することができる。y方向に移動することにより、ミラー2119の間隔が変化するので、モードの間隔、すなわち、パルスの繰り返し周期を制御することができる。さらに、モードロック状態が生じやすいように、 θ 方向を制御し、共振器内の遅延時間をパルスの繰り返し周期の整数倍あるいは整数分の一になるようにする。

【0297】本実施形態例29では、パルス列の繰り返し周期および中心周波数を容易に制御できる特徴を持つ。図面では、光ファイバの各部品を接続するように示したが、他の実施形態例と同様にレンズで接続してもよいことは、言うまでもない。また、他の実施形態例においても、本実施形態例と同様に光ファイバで接続することは、言うまでもない。

(実施形態例30) 図73(A)は、本発明の実施形態例30を示すもので、本実施形態例は、光信号の実時間波形の観察が可能な光信号処理装置に関する。

【0298】図73(A)において、3101は信号光を入射させるための信号光用入射導波路である。3102は第1のスラブ導波路であって、信号光用入射導波路3101の出力光をアレイド導波路3103に分配する機能を持つ。アレイド導波路3103は入射信号光を時間-空間変換する機能を持つ。

【0299】また、3104は参照光を入射させるための参照光用入射導波路である。3105は参照光用の第1のスラブ導波路であって、参照光用入射導波路3104の出力光をアレイド導波路3106に分配する機能を持つ。アレイド導波路3106は入射参照光を時間-空間変換する機能を持つ。

【0300】3107は第2のスラブ導波路であり、アレイド導波路3103とアレイド導波路3106とから出力した出力光をそれぞれフーリエ変換させる機能を持つ。3108は光検出ダイオード(PD)アレイドであり、第2のスラブ導波路3107によりフーリエ変換された信号光と参照光との干渉によって、第2のスラブ導波路3107の焦点面に形成されるフーリエ変換ホログラムの電界強度分布を検出する。3109はPDアレイド3108により検出されたフーリエ変換ホログラムの電界強度分布から入力した上記信号光を復元する光信号復元回路である。また、200は、前記導波路3101、3104、スラブ導波路3102、3105、4107、アレイド導波路3103、3106から構成されるアレイド導波路回折格子である。

【0301】ここで、アレイド導波路3103とアレイド導波路3106によって信号光を時間-空間変換する際に、時間軸に対して空間軸が互いに反転すると、ホログラムが得られないので、2つのアレイド導波路3103、3106は、図73(A)に示したように同じ方向に曲げ、これによりアレイド導波路の出射面上で時間軸に対す

る空間軸の符号を描えている。

【0302】また、本実施形態例30では、PDアレイ3108は第2のスラブ導波路3107の焦点面にはば密着させているが、さらに第2のスラブ導波路3107の焦点面にレンズを設けて位相補償を行ってもよい。また、2つの導波路アレイを設計する際には、図73のように、信号光用アレイ導波路3103はその出射側、また参照光用アレイ導波路3106はその入射側に、それぞれ1cm程度の直線のアレイ導波路を付け加えることで、アレイ導波路同士が互いに重ならないようにしている。

【0303】また、同等の機能を有する構成として、図73(B)のようにすることも可能である。図73(B)において、符号3110は参照光用の第2のスラブ導波路、3111はハーフミラーである。ハーフミラー3111は導波路を形成後、基板にダイシングソーによって溝を作製し、挿入することで導入する。ハーフミラー3111の位置は、スラブ導波路3110に入射した参照光がハーフミラー3111において反射し、スラブ導波路3107の焦点面に結像するように決定する。このとき、オフアクシスホログラムの構成にするためには、参照光の光軸は、信号光の光軸に対して、3度から30度程度の角度をなすようにする必要がある。信号光と参照光のなる角度はできるだけ小さい方が分解能が良くなるが、信号光と参照光とを分離させるためには、図73(C)に示すように、参照光および信号光のそれぞれのビームが重ならない程度に大きくする必要がある。

【0304】図73(A)における導波路は、一例として次のようにして形成した。まず、単結晶シリコンの基板上に、火炎加水分解体積法(FHD法)によって下部クラッド層、コア層の順にガラス微粒子膜として堆積させた後、アニール炉中で高温に加熱し、シリコン基板上を覆う透明なガラス膜とする。その後、導波路の形にパターニングを施し、ドライエッチングを用いて、不要なコア層を除去した後、再びFHD法を用いて上部クラッド層を堆積させ、高温に加熱して上部クラッド層を透明化させる。本実施形態例30では、このような作製法を用いたが、InPなどの半導体層にコア層としてInGaAsPなどのクラッドよりも屈折率の高い半導体をエピタキシャル成長させ、パターニング、エッチングの後、再びInPを上部クラッド層として再成長させて作製した半導体の導波路構造についても同様の機能を持つことは明らかである。この場合は、使用したい波長域に

$$G(\xi)=|S(\xi)+R(\xi)|^2$$

$$=|S(\xi)|^2+|R(\xi)|^2+S(\xi)\times R^*(\xi)+S^*(\xi)\times R(\xi) \quad (11)$$

と表すことができる。ただし、上式(11)において $S^*(\xi)$ 、 $R^*(\xi)$ はそれぞれ $S(\xi)$ 、 $R(\xi)$ の複素共役をあらわしている。このようなホログラムG

$$G(\xi)=R(\xi)/|R(\xi)|^2$$

$$=|S(\xi)|^2/|R(\xi)|^2+1\times R(\xi)+S(\xi)+S^*(\xi)\times R(\xi)/|R(\xi)|^2$$

において材料が透明であることが望ましい。

【0305】また、本実施形態例で用いた光検出ダイオードアレイの詳細図を図73(D)に示す。256個の1次元アレイで1個の光検出ダイオードの大きさは、縦200μm、横30μmであり、それぞれのピクセルが周期50μmで並んでいる。各ピクセルで発生した電荷は、電荷積分器3114に蓄積される。蓄積された電荷は、CMOSのシフトレジスタ3115によって、ピクセルを順次操作していくことで読み出される。また、光信号復元回路3109は、光検出ダイオードアレイによって検出したホログラム干渉縞の分布に対して、後述の数学的操作を行うための電子計算機およびプログラム、復元した元の光信号の電界分布を表示させるための表示装置から構成されている。

【0306】また、本実施形態例で用いた光検出ダイオードアレイの詳細図を図73(D)に示す。256個の1次元アレイで1個の光検出ダイオードの大きさは、縦200μm、横30μmであり、それぞれのピクセルが周期50μmで並んでいる。各ピクセルで発生した電荷は、電荷積分器3114に蓄積される。蓄積された電荷は、CMOSのシフトレジスタ3115によって、ピクセルを順次操作していくことで読み出される。

【0307】また、光信号復元回路3109は、光検出ダイオードアレイによって検出したホログラム干渉縞の分布に対して、後述の数学的操作を行うための電子計算機およびプログラム、復元した元の光信号の電界分布を表示させるための表示装置から構成されている。

【0308】導波路3101に観測を行いたい信号 $s_1(t)$ を入射させ、導波路3102に既知の参照光 $r_1(t)$ を入射させた場合には、それぞれのアレイ導波路3103、3106の出射端では、座標軸を x_1 とした場合、信号光および参照光は時間-空間変換を受け、それぞれ $s_2(x_1)$ および $r_2(x_1)$ と変換される。これらの光信号 $s_2(x_1)$ および $r_2(x_1)$ はスラブ導波路3107を伝搬する際に回折によってフーリエ変換され、スラブ導波路3107の焦点面上で信号光および参照光は焦点面座標における空間周波数軸を ξ とすると、それぞれ $S(\xi)$ および $R(\xi)$ と変換される。ただし、 $S(\xi)$ 、 $R(\xi)$ はそれぞれ $s_2(x_1)$ 、 $r_2(x_1)$ のフーリエ変換である。スラブ導波路3107の焦点面では $S(\xi)$ および $R(\xi)$ は互いに干渉してホログラムを形成する。このホログラムの電界強度分布 $G(\xi)$ を数式で表現すると、

(ξ)の分布をPDアレイ3108で検出し、数学的操作により、 $G(\xi)/|R(\xi)|^2$ を掛けることで、

(12)

が導出できる。上式 (12) 中には明示されていないが、ここでスラブ導波路 3107 において、信号光 s_2 ($\times 1$) と参照光 r_2 ($\times 1$) とは異なる位置から入射させていることから、これはホログラフィ技術におけるオフアクシス法と等価な構成である。

【0309】したがって、上式 (12) に現れるそれぞれの項、

$$(|S(\xi)|^2 / |R(\xi)|^2 + 1) \times R(\xi)$$

$$S(\xi)$$

$$S^* (\xi) \times R(\xi) / |R(\xi)|^2$$

は、それぞれ 0 次、+1 次、-1 次の回折成分に相当し、その回折方向は異なる。故に、光信号復元回路 3109 において、観測したい電界成分 $S(\xi)$ を数式上で分離して導出することが可能となる。

【0310】また、実際には、第 2 のスラブ導波路 3107 の焦点面は、円弧状であるが、本実施形態例では、焦点面の近傍で直線上に切断しており、焦点面と切断面とは厳密には一致しない。つまり、時間-空間変化した信号光は、直線切断面において厳密なフーリエ変換像にはなっていない。このため、光検出ダイオードアレイ 3108 で受光したホログラムの干渉縞から元の信号波形を再生する場合、逆フーリエ変換を行う時点で誤差が生じる。

【0311】本実施形態例では、このような誤差が生じる問題を解決する方法として、第 2 のスラブ導波路 3107 の切断面に位相のずれによる分散を補償するフレネルレンズを貼り付けることにより補正を行ったが、フレネルレンズによらなくとも、上述のように計算によって信号光の波形を再生する場合、レンズによる回折を計算する過程、つまり、逆フーリエ変換を行う過程において、フーリエ変換によらず、より一般的な回折の式を用い、位相のズレによる分散を補償して、回折光の計算をすることにより、その補正を行うことも可能である。

【0312】また、実際には、第 2 のスラブ導波路 3107 の焦点面は、円弧状であるが、本実施形態例では、焦点面の近傍で直線上に切断しており、焦点面と切断面とは厳密には一致しない。つまり、時間-空間変化した信号光は、直線切断面において厳密なフーリエ変換像にはなっていない。このため、光検出ダイオードアレイ 3108 で受光したホログラムの干渉縞から元の信号波形を再生する場合、逆フーリエ変換を行う時点で誤差が生じる。

【0313】本実施形態例では、このような誤差が生じる問題を解決する方法として、第 2 のスラブ導波路 3107 の切断面に位相のずれによる分散を補償するフレネルレンズを貼り付けることにより補正を行ったが、フレネルレンズによらなくとも、上述のように計算によって信号光の波形を再生する場合、レンズによる回折を計算する過程、つまり、逆フーリエ変換を行う過程におい

て、フーリエ変換によらず、より一般的な回折の式を用い、位相のズレによる分散を補償して、回折光の計算をすることにより、その補正を行うことも可能である。

【0314】実際に図 73 (A) の光学系を用いて、パルス幅 1 p s、パルス間隔が約 4. 2 p s の 13 個のパルス列 1 組を、信号光として信号光用入射導波路 3101 から入射し、パルス幅 1 p s のトランスフォームリミテッドに近い単パルス光を、参照光として参照光用入射導波路 3104 から入射した場合の、フーリエ変換ホログラムの電界強度分布から、入射した信号光パルス列の電界分布を数学的に復元することが可能なことを確認した。

(実施形態例 31) 図 74 は、本発明の実施形態例 31 を示すもので、波形観測可能な光信号処理装置に関する。図 74 において、3201 は回折格子であり、入射信号光 3204 と入射参照光 3205 とを時間-空間変換する機能を持つ。3202 はレンズであり、回折格子 3201 で回折された信号光と参照光とをフーリエ変換する機能を持つ。3203 は光検出ダイオード (PD) アレイであり、レンズ 3202 の焦点面近傍に配置されており、フーリエ変換された信号光と参照光との干渉によってレンズ 3202 の焦点面に形成されるフーリエ変換ホログラムの電界強度分布を検出する。3206 は PD アレイ 3203 により検出されたフーリエ変換ホログラムの電界強度分布から入力した上記信号光を復元する光信号復元回路である。前記実施形態例 30 の場合と同様にオフアクシス法のフーリエ変換ホログラムから数学的操作によって信号光を導出することが可能である。

【0315】実際に光学定盤上に、図 74 のような光学系を配置し、この光学系に、パルス幅 0. 3 p s、パルス間隔が約 8. 3 p s の 100 個のパルス列に適当な変調を加えたランダムな信号を入射し、パルス幅 0. 1 p s のトランスフォームリミテッドに近い単パルスを参照光として入射した場合のフーリエ変換ホログラムの電界強度分布から、入射したパルス信号の電界分布を数学的に復元することが可能なことを確認した。

【0316】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、1 ~ 10 p s の光パルスの発生、波形整形、波形測定、波形記録、相関処理等を可能にする光信号処理装置および光信号処理方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】従来の光信号処理装置の一例を示す構成図である。

【図 2】従来装置における入射光信号および出力信号のパルス強度を示す図である。

【図 3】従来装置における入射光信号の光スペクトルと、該光信号の空間フィルタ透過率と、出射光信号の光スペクトルとの関係を示す図である。

【図4】従来の短パルス光源として用いられるモードロック型レーザの構成図である。

【図5】従来の、多数の波長の光を同時に発振する多波長光源の構成図である。

【図6】従来の、分散補償可能な光信号処理装置の構成図である。

【図7】従来の他の、分散補償可能な光信号処理装置の構成図である。

【図8】本発明の第1の実施形態例を示すもので、本発明の光信号処理装置の構成図である。

【図9】本発明の第1の実施形態例を示すもので、本発明の光信号処理装置の他の構成図である。

【図10】本発明の第1の実施形態例を示すもので、本発明の光信号処理装置のさらに他の構成図である。

【図11】本発明の第2の実施形態例を示すもので、本発明の光信号処理装置の構成図である。

【図12】本発明の第2の実施形態例の光信号処理装置の変形例を示す構成図である。

【図13】本発明の第2の実施形態例の光信号処理装置の他の変形例を示す構成図である。

【図14】本発明の第3の実施形態例を示すもので、本発明の光信号処理装置の構成図である。

【図15】(A)は本発明の第3の実施形態例の光信号処理装置の導波路アレイ部分の構成図、(B)は(A)に示した光信号処理装置のスターカップラ部分の拡大図である。

【図16】本発明の第4の実施形態例を説明するためのもので、本実施形態例の光信号処理装置装置への入射光のパルス波形を示す図である。

【図17】本発明の第4の実施形態例を説明するためのもので、本実施形態例の光信号処理装置装置への出射光のパルス波形を示す図である。

【図18】本発明の第4の実施形態例を説明するためのもので、本実施形態例の光信号処理装置装置への出射光のパルス波形を示す図である。

【図19】本発明の第4の実施形態例の装置と従来装置を用いた場合における、それぞれの取り扱う光パルス幅と、処理可能な最大光パルス数との関係を示す図である。

【図20】本発明の第5の実施形態例を示すもので、本発明の光信号処理装置の構成図である。

【図21】(A)は本発明の第5の実施形態例の光信号処理装置のフレネルレンズ部分の拡大断面図、(B)は本発明の第5の実施形態例の光信号処理装置のフレネルレンズの平面構成図である。

【図22】本発明の第5の実施形態例の光信号処理装置における入射光信号および出力信号のパルス強度を示す図である。

【図23】本発明の第5の実施形態例の光信号処理装置における入射光信号の光スペクトルと、位相フィルタの

相対位置と、出射光信号の光スペクトルとの関係を示す図である。

【図24】(A)は本発明の第5の実施形態例の光信号処理装置の変形例のフレネルレンズ部分の拡大断面図、(B)は本発明の第5の実施形態例の光信号処理装置の他の変形例のフレネルレンズ部分の拡大断面図、(C)は本発明の第5の実施形態例の光信号処理装置のさらに他の変形例のフレネルレンズ部分の拡大断面図、(D)は本発明の第5の実施形態例の光信号処理装置のさらに他の変形例のフレネルレンズ部分の拡大断面図、(E)は本発明の第5の実施形態例の光信号処理装置のさらに他の変形例のフレネルレンズ部分の拡大断面図である。

【図25】(A)は本発明の第6の実施形態例を示すもので、本発明の光信号処理装置の液晶からなる空間フィルタ部分の断面構成図、(B)は本発明の第6の実施形態例の光信号処理装置の空間フィルタを構成する透明電極の平面構成図である。

【図26】(A)は本発明の第7の実施形態例を示すもので、本発明の光信号処理装置のスラブ導波路の出口近傍の平面構成図、(B)は本発明の第7の実施形態例の光信号処理装置のスラブ導波路の出口近傍の断面構成図である。

【図27】本発明の第8の実施形態例の光信号処理装置の構成図である。

【図28】本発明の第8の実施形態例の光信号処理装置の中央部分に設けた空間フィルタ近傍の拡大断面図である。

【図29】(A)は本発明の第8の実施形態例の光信号処理装置の変形例を示すもので、同装置の空間フィルタ近傍の拡大断面図、(B)は本発明の第8の実施形態例の光信号処理装置の他の変形例を示すもので、同装置の空間フィルタ近傍の拡大断面図、(C)は本発明の第8の実施形態例の光信号処理装置のさらに他の変形例を示すもので、同装置の空間フィルタ近傍の拡大断面図、(D)は本発明の第8の実施形態例の光信号処理装置のさらに他の変形例を示すもので、同装置の空間フィルタ近傍の拡大断面図である。

【図30】本発明の第9の実施形態例の光信号処理装置の構成図である。

【図31】本発明の第9の実施形態例の光信号処理装置のアレイ導波路の拡大構成図である。

【図32】本発明の第10の実施形態例の光信号処理装置の構成図である。

【図33】本発明の第11の実施形態例の光信号処理装置の構成図である。

【図34】本発明の第12の実施形態例の光信号処理装置の構成図である。

【図35】本発明の第13の実施形態例の光信号処理装置の構成図である。

【図36】本発明の第13の実施形態例の光信号処理装

置のフレネルレンズ近傍の断面構成図である。

【図37】(A)は本発明の第13の実施形態例の光信号処理装置の空間フィルタの上面図、(B)は本発明の第13の実施形態例の光信号処理装置の空間フィルタの断面図である。

【図38】(A)は本発明の第13の実施形態例の光信号処理装置のフレネルレンズの縦断面図、(B)は本発明の第13の実施形態例の光信号処理装置のフレネルレンズの上面図、(C)は本発明の第13の実施形態例の光信号処理装置のフレネルレンズの横断面図である。

【図39】本発明の第13の実施形態例の光信号処理装置の空間フィルタおよびフレネルレンズに用いられるPMGIの現像深さの露光依存性を示す図である。

【図40】本発明の第13の実施形態例の光信号処理装置において、PMGIをマスクにして石英基板をエッチングして形成したフレネルレンズの断面構成図である。

【図41】本発明の第13の実施形態例の光信号処理装置のフィルタ特性（正の分散）を示す図である。

【図42】本発明の第13の実施形態例の光信号処理装置のフィルタ特性（負の分散）を示す図である。

【図43】本発明の第15の実施形態例の光信号処理装置の構成図である。

【図44】本発明の第16の実施形態例を示すもので、本発明における広義の光信号処理装置のブロック図である。

【図45】本発明の第16の実施形態例の光信号処理装置の変調器の出力光強度の時間波形と、本装置の構成要素の一つである光信号処理装置を透過後の出力波形とを示す図である。

【図46】本発明の第16の実施形態例において、構成要素の光信号処理装置として実施形態例13の装置を用いた場合の位相フィルタ（3次以上の項を用いる）の特性を示す図である。

【図47】本発明の第16の実施形態例において、構成要素の光信号処理装置として実施形態例13の装置を用いた場合の位相フィルタ（全くランダムな位相変化）の特性を示す図である。

【図48】本発明の第16の実施形態例において、構成要素の受信側の光信号処理装置の強度フィルタに中心周波数近傍のみを低減するフィルタを用いた場合の強度フィルタの特性を示す図である。

【図49】(A)は本発明の第17の実施形態例の光信号処理装置の位相フィルタの特性を反射型構成の場合について示す図、(B)は本発明の第17の実施形態例の光信号処理装置の位相フィルタの特性を反射型構成の場合について示す図である。

【図50】(A)は本発明の第17の実施形態例において、強度変調信号の周波数スペクトル振幅を示す図、(B)は本発明の第17の実施形態例において、角度変調信号の周波数スペクトル振幅を示す図である。

【図51】本発明の第18の実施形態例の光信号処理装置の構成図である。

【図52】本発明の第18の実施形態例におけるフィルタ平面上での平均光強度分布を示す図である。

【図53】本発明の第18の実施形態例における、変調信号、位相変調後の信号、および再生後の復調信号の、それぞれの波形を示す図である。

【図54】本発明の第19の実施形態例の光信号処理装置の構成図である。

【図55】本発明の第20の実施形態例の光信号処理装置（短パルス光源）の構成図である。

【図56】本発明の第20の実施形態例において、スラブ導波路72に入射する光の周波数と、スラブ導波路74の焦点面における結像位置xの関係を示す図である。

【図57】本発明の第20の実施形態例において、出力導波路75の間隔 Δx を $50\mu\text{m}$ 、コア幅を $10\mu\text{m}$ とした時の反射スペクトルを示す図である。

【図58】本発明の第20の実施形態例の光信号処理装置の発振波長スペクトルを示す図である。

【図59】本発明の第20の実施形態例の光信号処理装置の発振パルス波長を示す図である。

【図60】本発明の第20の実施形態例の光信号処理装置によって実現することのできる発振波長スペクトルの一例を示す図である。

【図61】本発明の第21の実施形態例の光信号処理装置（短パルス光源）の要部の拡大図である。

【図62】(A)は本発明の第22の実施形態例の光信号処理装置（短パルス光源）の要部の拡大図、(B)は本発明の第22の実施形態例の光信号処理装置（短パルス光源）において共振器内の分散補償を行うために用いる位相フィルタ近傍の構成図である。

【図63】本発明の第23の実施形態例の光信号処理装置（短パルス光源）の要部の拡大図である。

【図64】本発明の第24の実施形態例の光信号処理装置（短パルス光源）の要部の拡大図である。

【図65】本発明の第25の実施形態例の光信号処理装置（短パルス光源）の構成図である。

【図66】図65に示した装置の要部の拡大図である。

【図67】本発明の第26の実施形態例の光信号処理装置（短パルス光源）の要部の拡大図である。

【図68】(A)は本発明の第27の実施形態例の光信号処理装置（短パルス光源）の要部の拡大図、(B)は(A)のA-A'線に沿う断面図である。

【図69】本発明の第28の実施形態例の光信号処理装置（短パルス光源）の断面構成図である。

【図70】本発明の第29の実施形態例の光信号処理装置の構成図である。

【図71】(A)は本発明の第29の実施形態例の光信号処理装置の高反射ミラーの平面構成図、(B)は本発明の第29の実施形態例の光信号処理装置の高反射ミラ

一部分の断面構成図である。

【図72】本発明の第29の実施形態例の光信号処理装置の高反射ミラー近傍の配置を示す図である。

【図73】(A)は本発明の第30の実施形態例の光信号処理装置の構成図、(B)は本発明の第30の実施形態例の光信号処理装置の変形例の構成図、(C)は(B)に示した構成の要部拡大図、(D)は本発明の第30の実施形態例の光信号処理装置に用いた光検出ダイオードアレイの構成図である。

【図74】本発明の第31の実施形態例の光信号処理装置の構成図である。

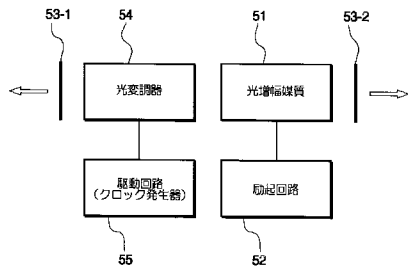
【符号の説明】

1 石英導波路
2, 10, 14, 25, 36, 42, 57 スターカップラ
3, 11, 15, 24, 32, 43, 58 導波路アレイ
4, 12, 16, 23, 34, 35, 59 スラブ導波路
5, 17, 109 空間フィルタ
6, 52 光コネクタ
7 光ファイバ
8 石英光回路
9, 13, 22, 26, 33, 37, 41, 56 光導波路
18 半波長板
19, 53, 120, 122, 502, 1017, 1019, 1021, 1032, 1039 光増幅器
20 空間フィルタ制御装置
21 反射型の計算機ホログラム (CGH)
31 透過型の計算機ホログラム
51 光記録媒体
54 光カップラ
55 石英光回路
60 光変調器
61 参照用導波路
101, 111 石英基板
102 光サーキュレータ
103 光ファイバ
104, 507, 804, 902 光導波路
105, 504, 211, 3102 第1のスラブ導波路
106, 601, 802, 3103, 3106 アレイ導波路
107, 506, 2113, 3107 第2のスラブ導波路
108 フレネルレンズ
109a, 116 位相フィルタ
109b 強度フィルタ
110, 402, 2035 ミラー

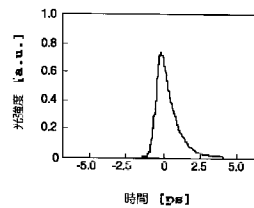
101A 第1の石英基板
101B 第2の石英基板
112 低反射フィルタ
113 保持基板
114 パターンミラー
115, 2114, 3202 レンズ
121, 906 光フィルタ
200 アレイ導波路回折格子
200A 第1のアレイ導波路回折格子
200B 第2のアレイ導波路回折格子
301a, 301b 透明電極
302 配向膜
303 スペーサ
304 ネマティック液晶
305 1/4波長板
401 光導波路のコア
403 斜め(7-8度)の端面の溝
501 ヒートシンク
503 フィルタ制御装置
505 第2のアレイ導波路
602 加熱電極
603 配線
604 制御装置
605 導波路中に設けられた溝
606 接続損失を減らすための導波路テーパー構造
607 1/2波長板
701 参照光入力用導波路
702 第2の分配手段であるスラブ導波路
703 第2のアレイ導波路
704 光記録媒体
801 第2の結像手段であるスラブ導波路
803 合波手段であるスラブ導波路
901 単色光のCW光源
903 スラブ導波路
904 光受光器アレイ
905 パラレルシリアル変換回路
1001 光源
1002, 2011 光変調器
1003 光変調信号発生回路
1004 第13から第15の実施例に示したいずれかの光信号処理装置
1005, 1020, 1040 光伝送路
1006 第13から第15の実施例に示したいいずれかの光信号処理装置
1007 光受信器
1011, 1031 短パルス光源
1013, 1022, 1033, 1041 光波長フィルタ
1014, 1023, 1034, 1042 光分岐素子
1015, 1035 n台の光変調回路

1016, 1024	n台の光サーキュレータ	2044	n-InP層
1017	n本の入力用導波路	2045	n-InGaAsP層
1018	光合波器	2046	AuZnNi電極
1025	n台の光受信回路	2047	AuGeNi電極
1036, 1037, 109, 1044, 1045, 1049	透過型光信号処理装置	2102	変調器駆動回路
1038	光合波器	2104	増幅媒質励起回路
1046	n台の光受信回路	2105	4端子型光サーキュレータ
2012	駆動回路	2106	無反射終端器
2013, 2103	光増幅媒質	2107	光カップラ
2014	励起回路	2108	偏波保持型光ファイバ
2015, 2032, 2109	アレイ導波路回折格子	2110	光導波路
2016, 2017	光結合手段	2112	導波路アレイ
2018, 2020, 2028, 2038, 2049	低反射コーティング	2116, 2116	微動台
2019, 2021, 2048, 2115	高反射ミラー	2117	石英基板
2020	分布屈折率型レンズ	2118	点反射コーティング
2023	偏光板	2119	Au/Cr等の高反射ミラー
2024	保持基板	2120	レンズ基板
2024-1, 2024-2	ガラス基板	2115, 2119	ミラー
2025	透明電極	3000	分散補償位相フィルタ
2026	配向膜	3101	信号光を入射させるための信号光用入射導波路
2027	ツイストネマティック液晶	3104	参照光を入射させるための参照光用入射導波路
2029	反射コーティング	3105	参照光用の第1のスラブ導波路
2030, 2033, 3201	回折格子	3108, 3203	光検出ダイオード(PD)アレイ
2031	光合波器	3109, 3206	PDアレイにより検出されたフーリエ変換ホログラムの電界強度分布から入力した信号光を復元する光信号復元回路
2034	基板に対して垂直な溝	3110	参照光用の第2のスラブ導波路
2036	ポリイミドフィルム	3111	ハーフミラー
2039	光吸収フィルム	3114	電荷積分器
2040	n-InP基板	3115	CMOSのシフトレジスタ
2041	光変調用MQW層	3204	入射信号光
2042	i-InPエッチストップ層	3205	入射参照光
2043	レーザ用MQW層		

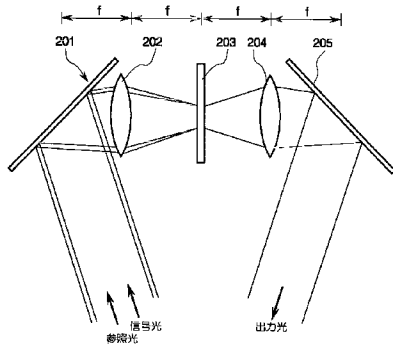
【図4】



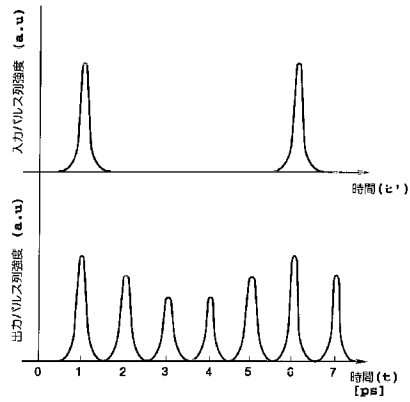
【図16】



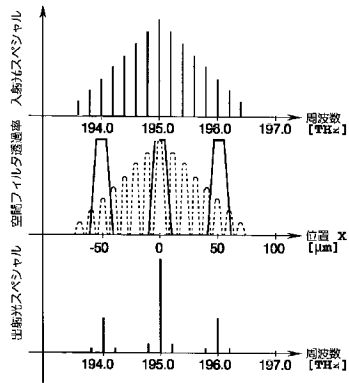
【図1】



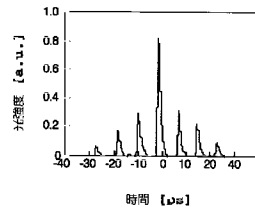
【図2】



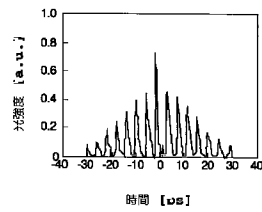
【図3】



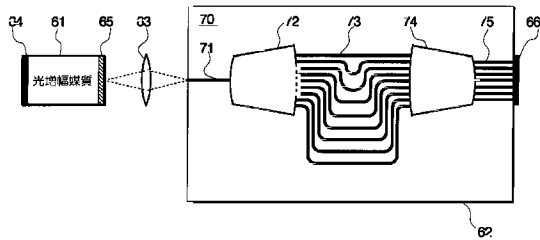
【図17】



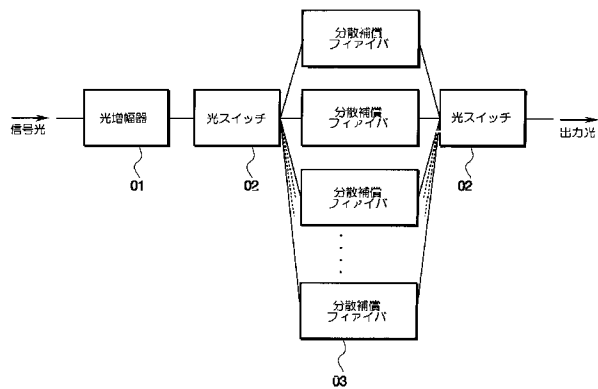
【図18】



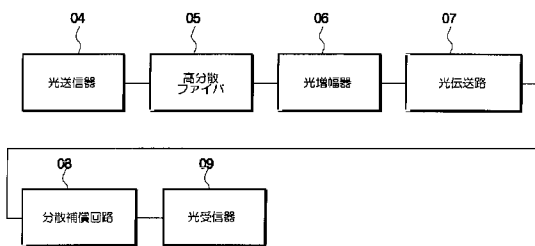
【図5】



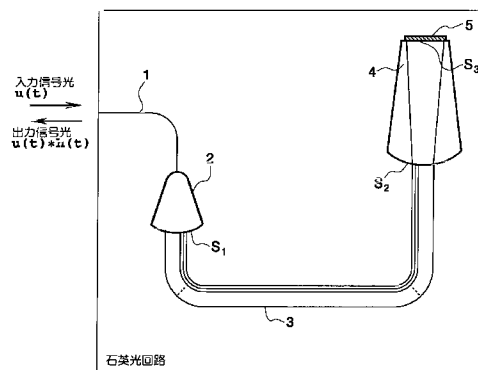
【図6】



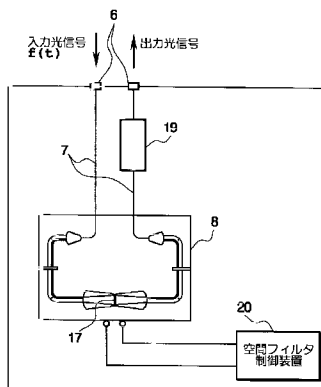
【図7】



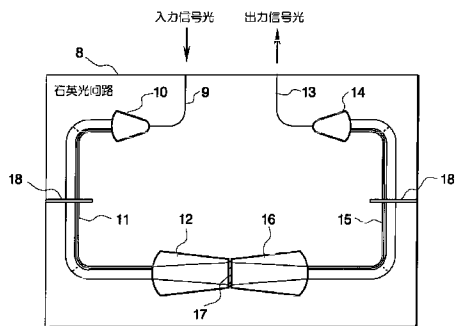
【図8】



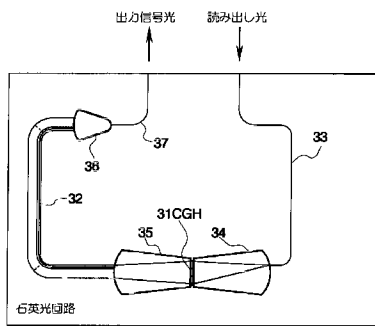
【図9】



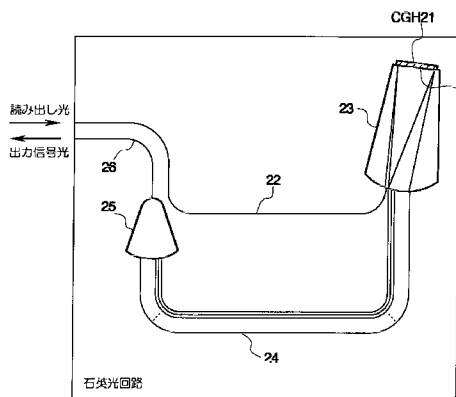
【図10】



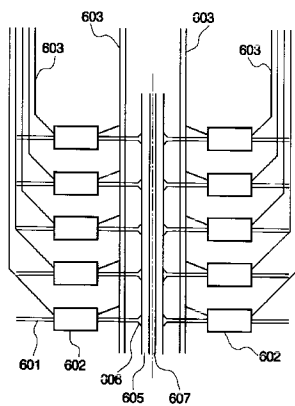
【図13】



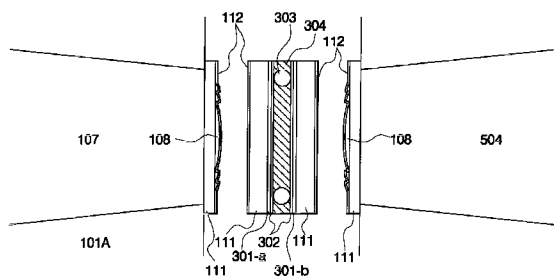
【図11】



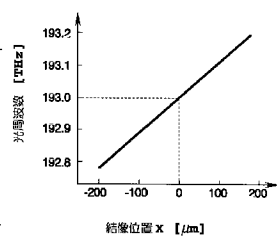
【図31】



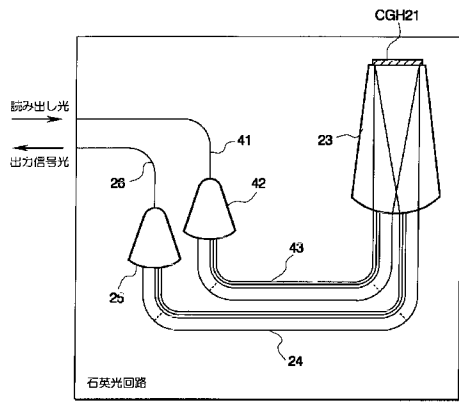
【図28】



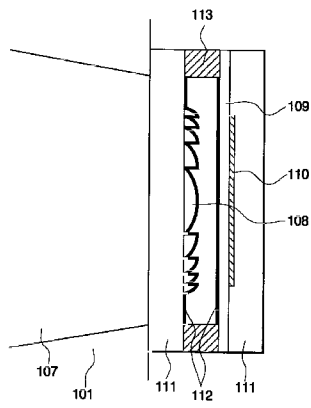
【図56】



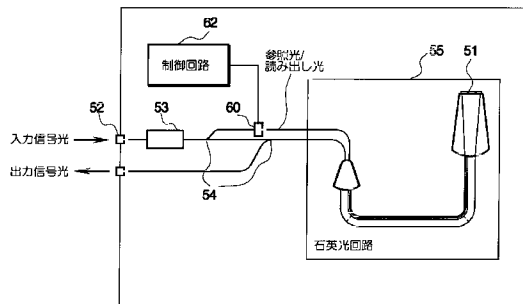
【図12】



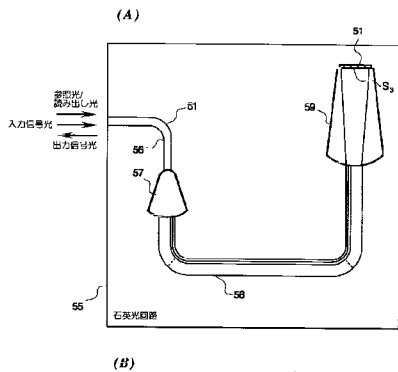
【図36】



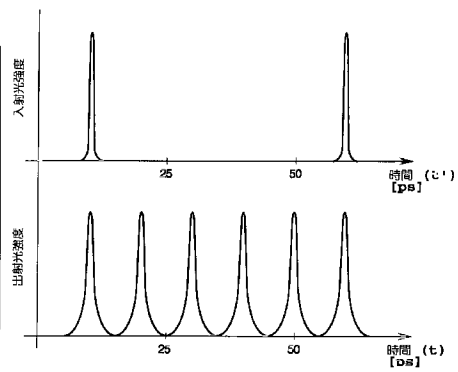
【図14】



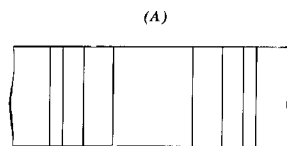
【図15】



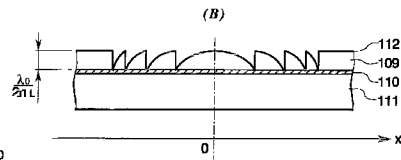
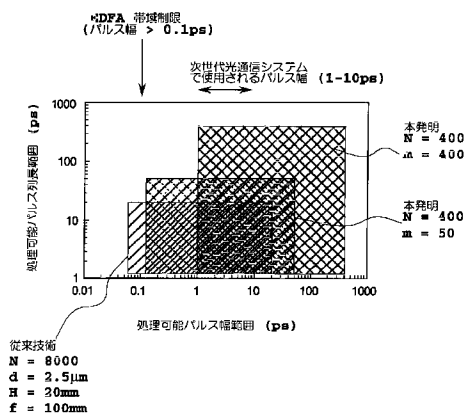
【図22】



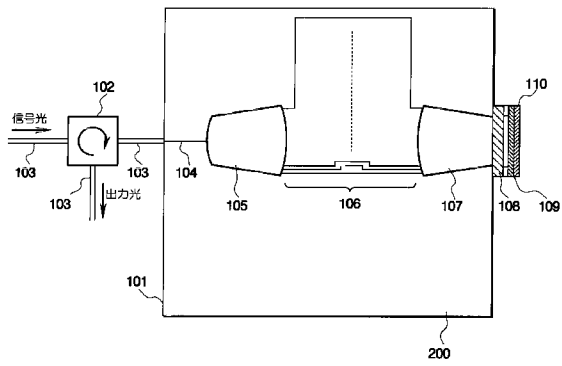
【図37】



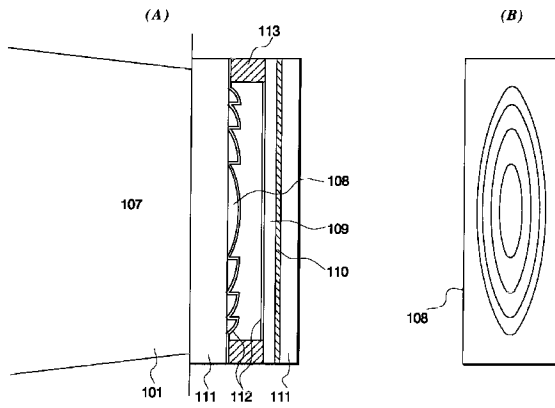
【図19】



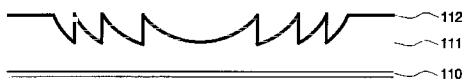
【図20】



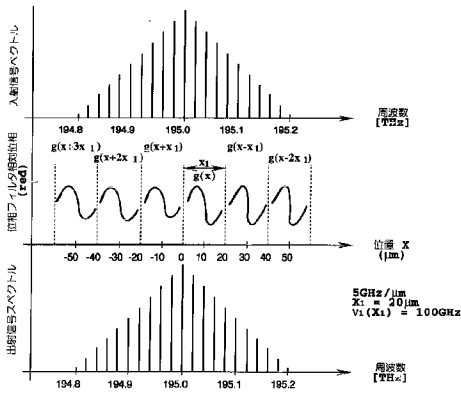
【図21】



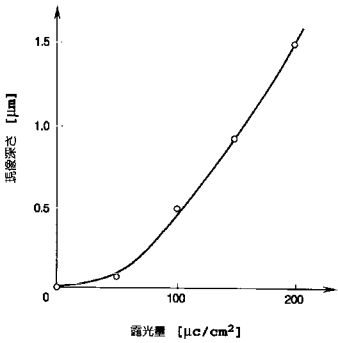
【図40】



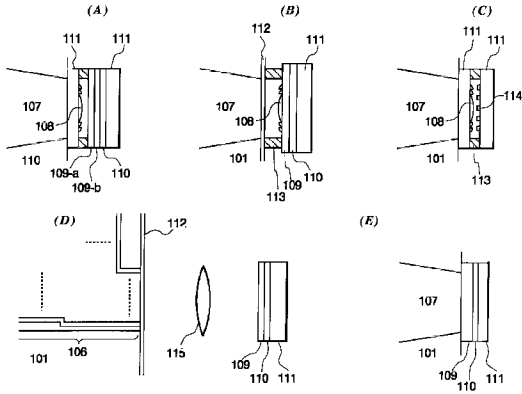
【図23】



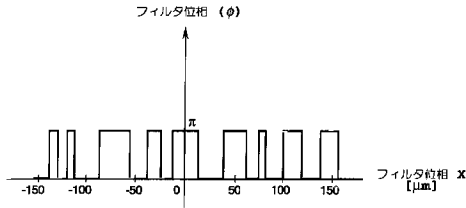
【図39】



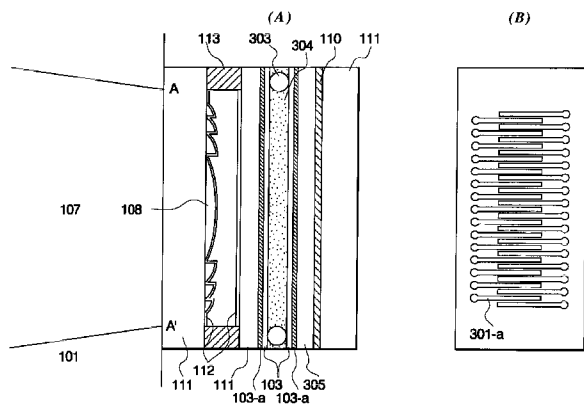
【図24】



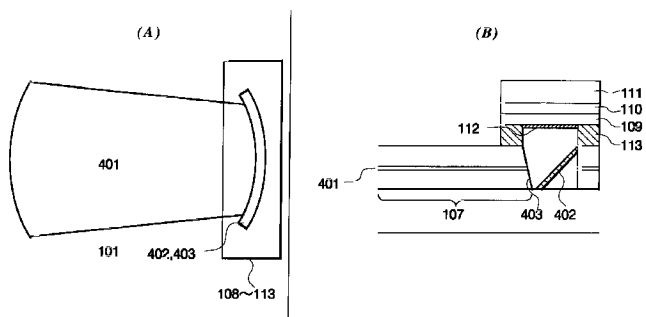
【図47】



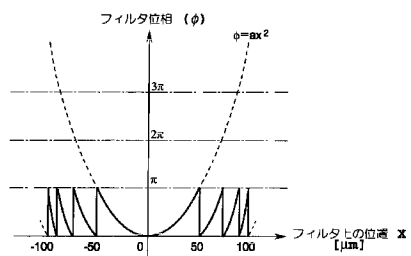
【図25】



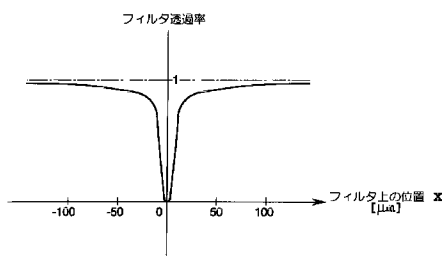
【図26】



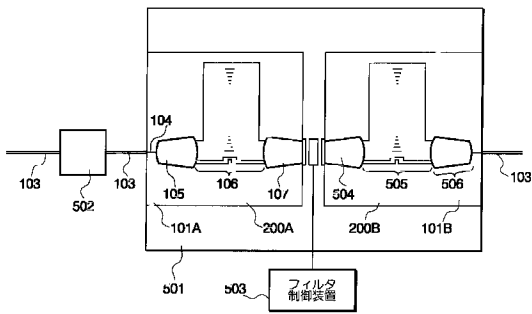
【図41】



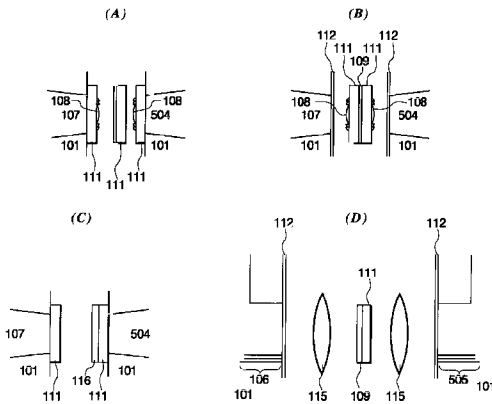
【図48】



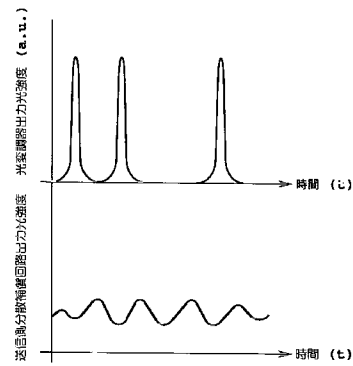
【図27】



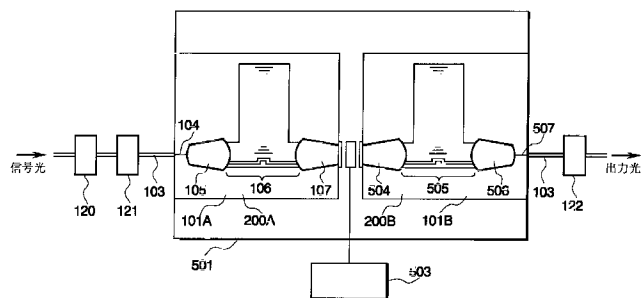
【図29】



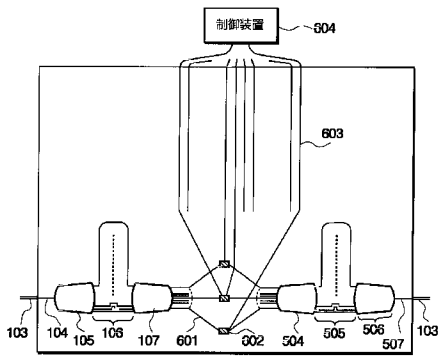
【図45】



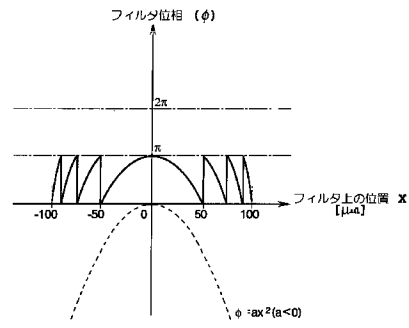
【図43】



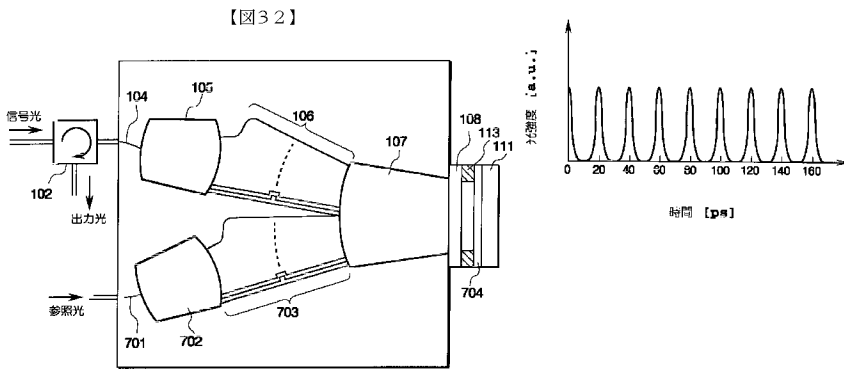
【図30】



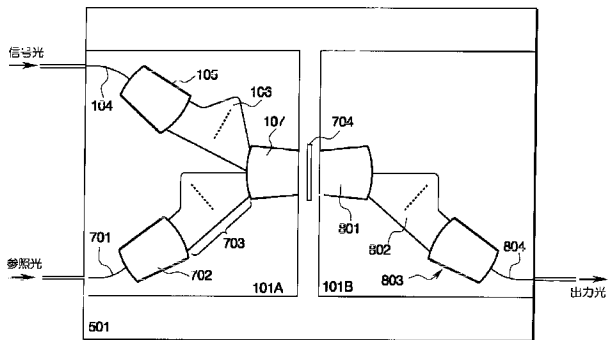
【図42】



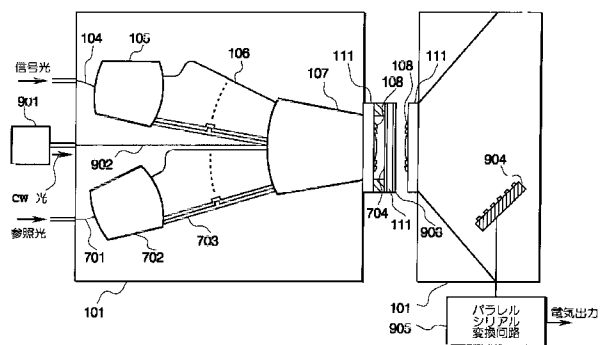
【図59】



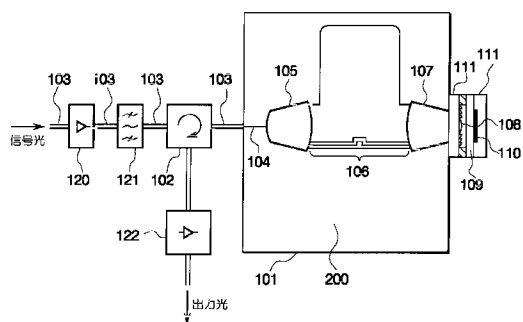
【図33】



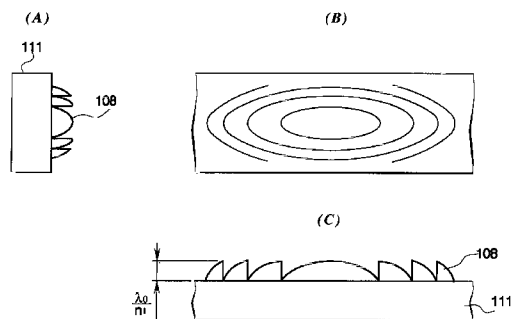
【例 3-4】



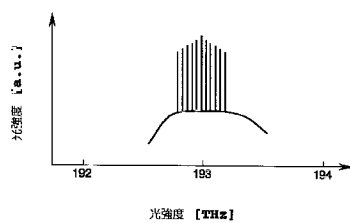
【图35】



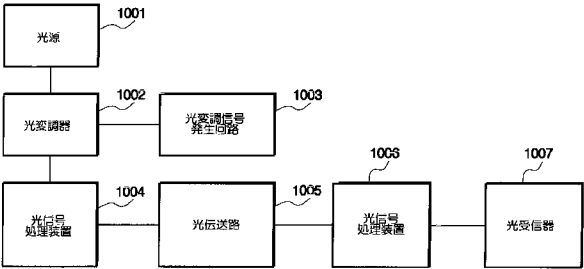
【図38】



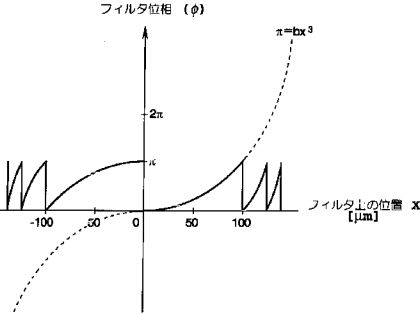
【图58】



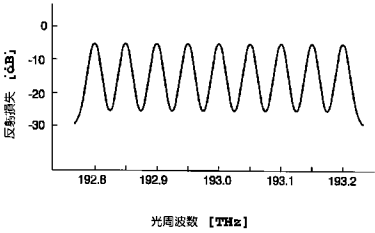
【図44】



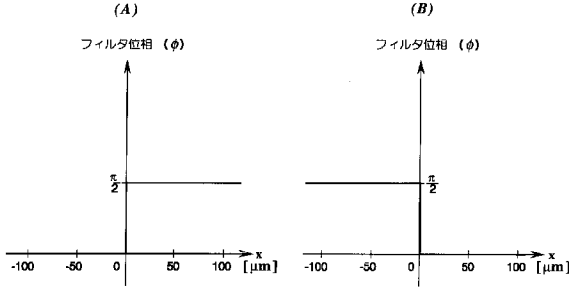
【図46】



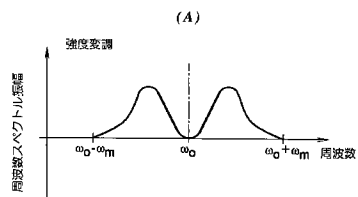
【図57】



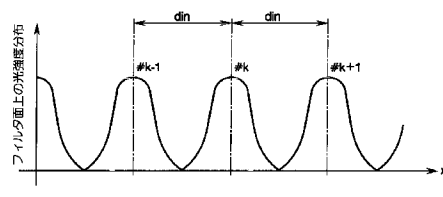
【図49】



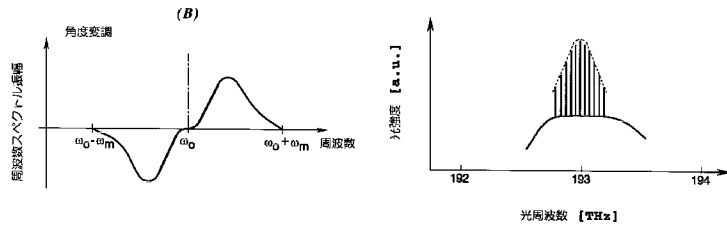
【図50】



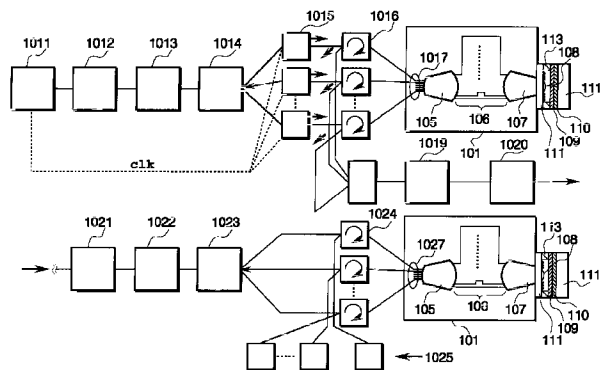
【図52】



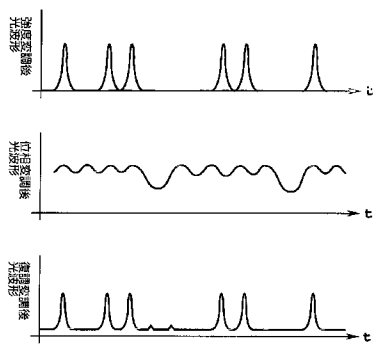
【図60】



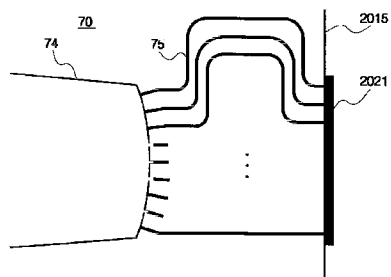
【図51】



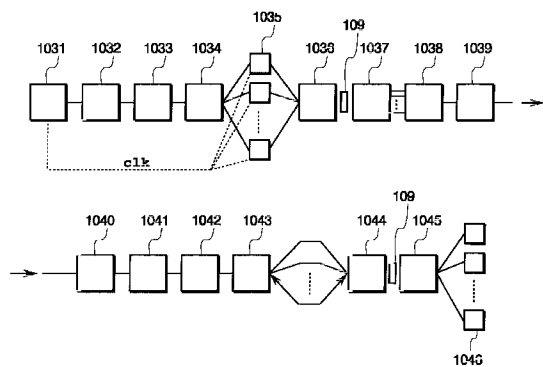
【図53】



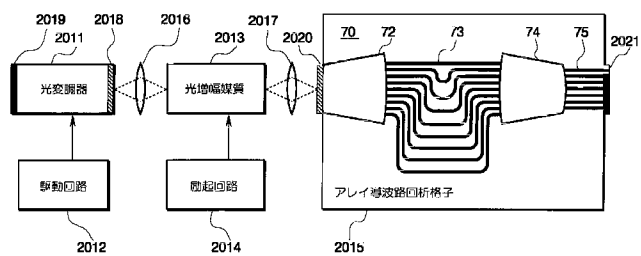
【図61】



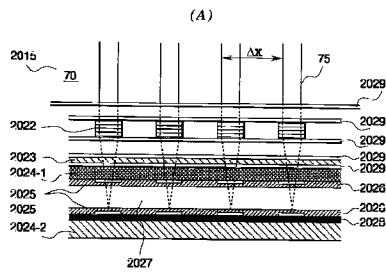
【図54】



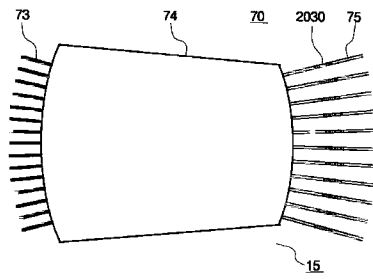
【図55】



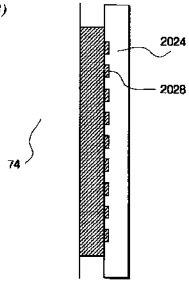
【図62】



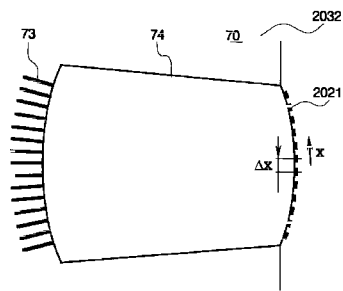
【図63】



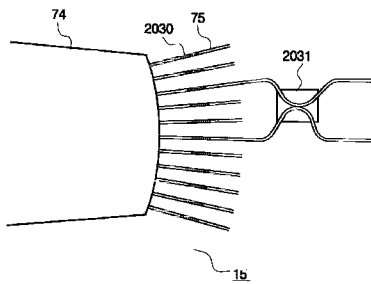
(B)



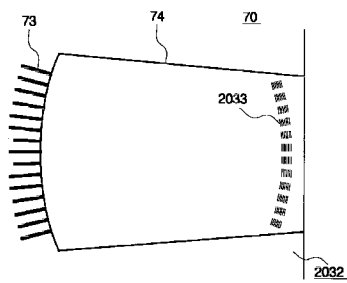
【図66】



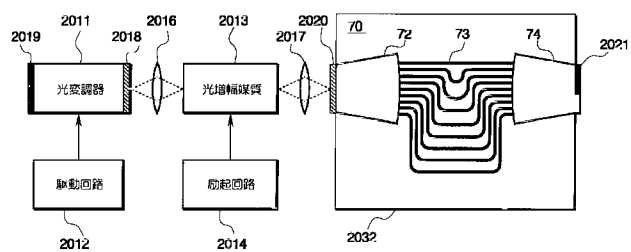
【図64】



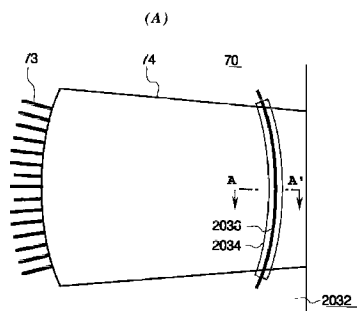
【図67】



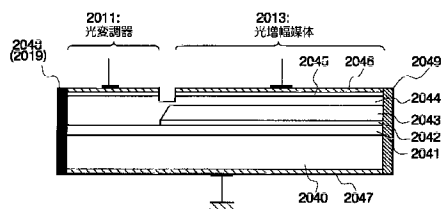
【例65】



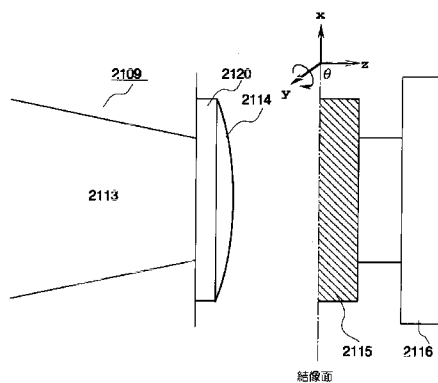
【图68】



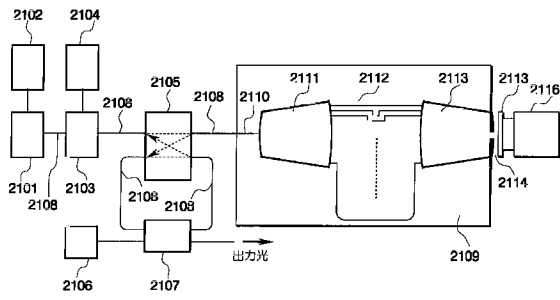
【图69】



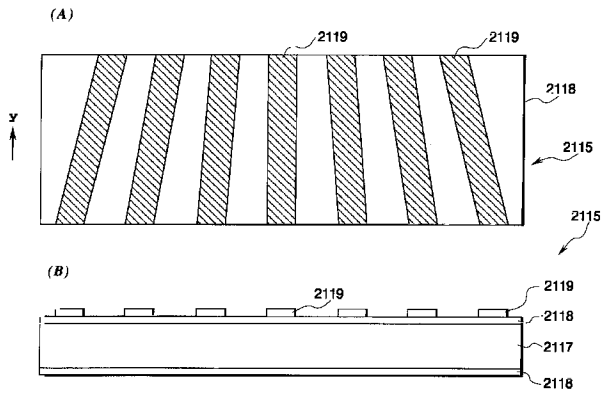
【図72】



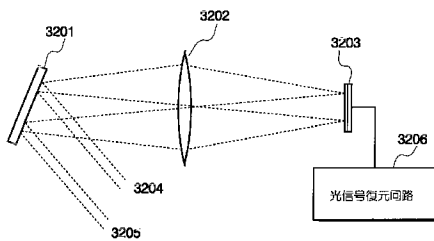
【図70】



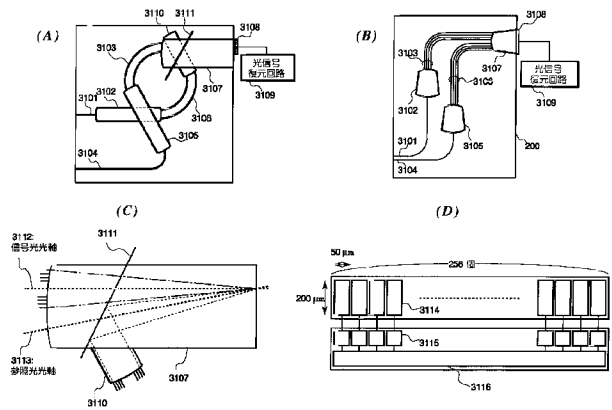
【図71】



【図74】



【図73】



フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 特願平9-58877

(32)優先日 平成9年3月13日(1997. 3. 13)

(33)優先権主張国 日本(J P)

(31)優先権主張番号 特願平9-179469

(32)優先日 平成9年7月4日(1997. 7. 4)

(33)優先権主張国 日本(J P)

(31)優先権主張番号 特願平9-199704

(32)優先日 平成9年7月25日(1997. 7. 25)

(33)優先権主張国 日本(J P)

(72)発明者 岡本 勝就

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内
- (72)発明者 長沼 和則

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72)発明者 竹ノ内 弘和

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72)発明者 石井 哲好

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2H047 KA03 KA12 LA19 MA05 QA02

QA04 RA08 TA05 TA11

5K002 AA01 AA03 BA02 BA04 BA05

BA21 CA01 CA02 CA13 CA14

DA02 DA05 EA05 FA01